

3/2021
ROČNÍK 30

METROLOGIE

VĚDECKÁ
LEGÁLNÍ
PRAKTICKÁ



VĚDA A VÝZKUM

Ing. Filip Vašíček Termická analýza	2
Ing. Michal Žoužela, Ph.D.; Ing. Pavel Zubík, Ph.D.; Ing. Jiří Březina; Bc. Martin Vítů Posouzení elektromagnetických indukčních měřidel bodové rychlosti vodního proudu v podmínkách reálného proudění.....	8

METROLOGIE V PRAXI

Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc.; Doc. Ing. František Tůma, CSc. Regulační diagramy a jejich využití v řízení kvality i v metrologii	15
Ing. Václav Sedlák; Mgr. Dominik Pražák Ph.D.; Mgr. Ing. Jan Rybář, Ph.D. Metrologie tlaku ve zdravotnictví	22
doc. Ing. David Milde, Ph.D. Metrologická návaznost výsledků měření v chemii.....	27
Ing. Martin Valenta Principy kalibrace v oboru základních elektrických veličin.....	30

INFORMACE

Ing. František Jelínek, CSc. Jednotka metr- vývoj definice	32
Ing. Miroslav Čermák Česká agentura pro standardizaci přináší novinky ze světa technických norem	35

PR

Blue Panther MET/CAL Calibration Management Software: kompletní řešení pro automatizaci kalibrace.....	37
---	----

Nabídka akcí ČMS na II. pololetí roku 2021

SCIENCE AND RESEARCH

Ing. Filip Vašíček Thermal Analysis.....	2
Ing. Michal Žoužela, Ph.D.; Ing. Pavel Zubík, Ph.D.; Ing. Jiří Březina; Bc. Martin Vítů Assessment of Electromagnetic Induction Meters for Measuring the Water Flow Spot Velocity in Real Flow Conditions.....	8

METROLOGY IN PRACTICE

Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc.; Doc. Ing. František Tůma, CSc. Regulatory Diagrams and Their Use in Quality Management and in Metrology	15
Ing. Václav Sedlák; Mgr. Dominik Pražák Ph.D.; Mgr. Ing. Jan Rybář, Ph.D. Pressure Metrology in Healthcare	22
doc. Ing. David Milde, Ph.D. Metrological Continuity of Measurement Results in Chemistry.....	27
Ing. Martin Valenta Principles of Calibration in the Field of Basic Electrical Variables	30

INFORMATION

Ing. František Jelínek, CSc. The Metre Unit - Development of the Definition	32
Ing. Miroslav Čermák The Czech Standardization Agency Introduces News from the World of Technical Standards	35

PR

Blue Panther ME T/CAL Calibration Management Software: Complete Solution for Calibration Automation	37
--	----

The List of ČMS Events in the 2nd Half of 2021

TERMICKÁ ANALÝZA

Ing. Filip Vašíček

Český metrologický institut, Praha

Termická analýza je odvětví oboru materiálových věd, které zahrnuje velké množství metod, pomocí kterých se sledují fyzikální a chemické vlastnosti měřeného systému, a to v závislosti na teplotě nebo čase. Měření probíhá v přednastaveném teplotním programu (ohřev, chlazení) a také v definovaných atmosférických podmínkách (vzduch, inertní atmosféra). Tepelné zatížení vzorku závisí na nastavení teplotního programu a jedná se buď o dynamické (zahřívání nebo ochlazování) anebo izotermní (konstantní teplota v závislosti na čase) [1].

Metodami termické analýzy lze sledovat procesy probíhající při zahřívání nebo ochlazování látek, například krystalizaci, dehydrataci, oxidaci, rozklad, tání, sublimaci, fázové přeměny a mnohé další změny. Rozdílnost metod spočívá v měřené vlastnosti vzorku. Některé metody například zaznamenávají změny hmotnosti, objemu či rozměrů, jiné zase změny toku tepla nebo elektrických vlastností.

Využití těchto metod přináší řadu výhod [2]:

- vzorek lze analyzovat v širokém teplotním intervalu a za různých teplotních programů,
- je možná jakákoliv forma vzorku (pevná látka, kapalina, gel) i tvar vzorku (prášek, granule, tenké vrstvy, vlákna aj.),
- stačí i malé množství vzorku (v řádu desetin mikrogramů až do desítek mg),
- čas měření může trvat v řádu několika minut až několika hodin,
- atmosféra v blízkosti vzorku je definovatelná,
- měřicí přístroje, práce se vzorky a interpretace dat nejsou tak náročné,
- jsou možné kombinace s přístroji z jiné skupiny metod (např. spektroskopické),
- je dostupné velké množství různých komerčních přístrojů termické analýzy.

ale i nevýhod [2]:

- přesná teplota vzorku během měření je neznámá, a to kvůli struktuře teplotního senzoru,
- teplotní gradient ve vzorku nelze změřit,
- data z termické analýzy jsou nepřímá a je potřeba je porovnávat s daty z přímých metod, jako jsou například spektroskopické metody,
- experimenty nejsou prováděné za rovnovážného stavu,
- citlivost a přesnost měření fyzikálně-chemických změn je relativně nízká v porovnání se spektroskopickými metodami.

1. Základní pojmy a instrumentace

Přístroje termické analýzy jsou obecně označovány jako **termické analyzátoři**, které se skládají z několika částí, a to ze zdroje tepla, měřicího zařízení, vstupu pro plyn a výstupu pro plynné produkty a také ze zařízení zajišťujícího komunikaci s počítačem, který zpracovává a ukládá naměřená

data [1, 3]. Zdrojem tepla je **pec**, která je tvořena z tepelně odolného materiálu (např. křemen, korund) a je elektricky ohřívána vinutým drátem okolo komory pece. **Měřicí zařízení** zaznamenává změny studovaných vlastností ve formě elektrického signálu. Jedná se například o termočlánek nebo termováha [1, 3]. Studovaná látka nebo směs látek jsou nazývány **vzorkem**, který je nejčastěji pevného skupenství, ale může být i kapalný. Vzorek je před měřením umístěn do **kelímku**, což je nádoba z různých materiálů (hliník, zlato, měď, platina nebo oxid hlinitý). Kelímky mohou mít různé velikosti (např. 40 μl , 100 μl nebo 160 μl).

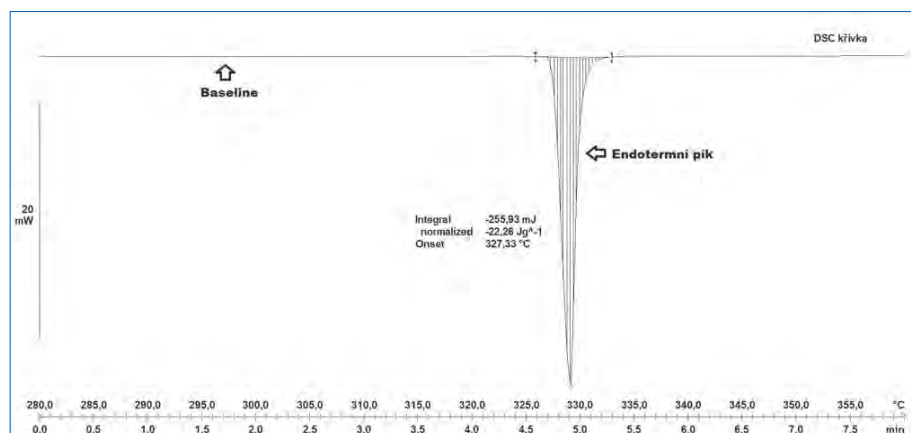


Obr. 1: Přehled kelímků a jejich víček používaných u metod DSC a TGA. Zleva doprava: hliníkový, platinový, z oxidu hlinitého [4]

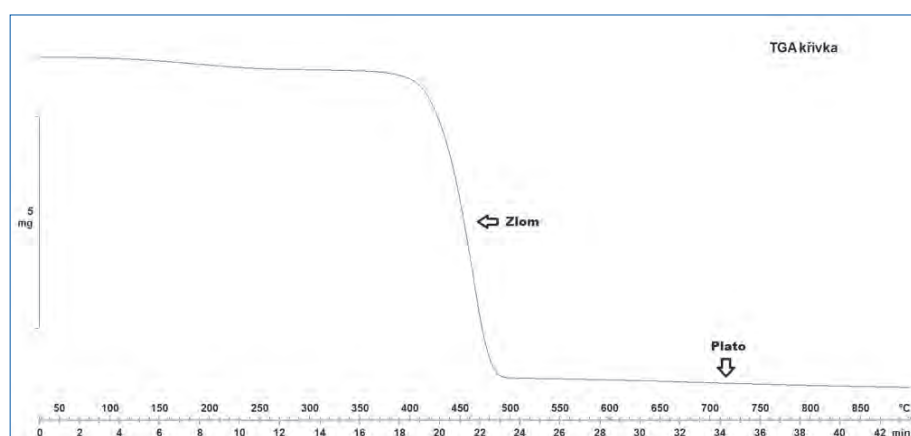
Materiál kelímku je nutné volit s ohledem na teplotu měření (např. Al kelímek maximálně do 640 $^{\circ}\text{C}$) a také na měřený vzorek, aby se zachovala inertnost a nedocházelo k reakci kelímku a vzorku (např. Pt kelímek s některými kovy tvoří slitiny) [4]. Hmotnost vzorku v kelímku se nazývá **navážka**. Měření vzorku probíhá podle obsluhou nastaveného **teplotního programu**. Teplotní program řídí změny teploty v čase a lze ho nastavit dvěma způsoby. První způsob je dynamický, kde se nejčastěji jedná o lineární nárůst teploty v závislosti na nastavené **rychlosti ohřevu** (také teplotní gradient), což je definovaná změna teploty za jednotku času ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$). Druhý způsob je izotermní, při kterém je udržována konstantní teplota po nastavenou dobu. Oba uvedené způsoby lze kombinovat. V rámci teplotního programu se nastavují i možnosti **pecní atmosféry**. Jedná se o atmosféru v blízkém okolí vzorku uvnitř pece. Atmosféra může být statická nebo dynamická. Statická je neměnná, na začátku je tvořena vzduchem a následně se zvyšuje podíl plynných produktů vlivem tepelného rozkladu vzorku [1, 3]. U atmosféry dynamické je použitý **nosný plyn**, který má definovanou rychlost (ml/min), se kterou prochází pecí. Dále se atmosféry rozdělují na oxidační (vzduch, kyslík), redukční (vodík) a inertní (dusík, argon) [1, 3].

Výsledkem termické analýzy **termoanalytická křivka**, kde studovaná vlastnost je graficky znázorněna v závislosti na teplotě nebo čase [1, 3]. K termoanalytické křivce se poji další pojmy jako **baseline**, **plato**, **pík** a **zlom**.

Baseline neboli základní linie je nulový rozdíl měřené veličiny mezi měřeným a referenčním vzorkem. Plato popisuje na TGA křivce oblast, kde se měřenému vzorku nemění hmotnost, naopak zlom popisuje oblasti, kde se změny hmotnosti vyskytují. Píky se například nachází na DSC nebo DTA křivkách a jedná se o rozdíl měřené vlastnosti mezi měřeným a referenčním vzorkem. Jinými slovy, v důsledku probíhajícího exotermního nebo endotermního děje má křivka jiný průběh než základní linie [1, 3].



Obr. 2: Příklad vyhodnocené DSC křivky s vyznačeným pikem a základní linií



Obr. 3: Příklad TGA křivky s vyznačeným zlomem a plato

U naměřených dat je nutné provést korekci. Korekce se provádí změněním tzv. **blanku**, což je měření prázdného kelímku za stejných podmínek jako kelímku se vzorkem. Blanková křivka se poté odečte od křivky naměřeného vzorku, a tím se vykompenzují vlivy přístroje nebo okolního prostředí na měření [4].

Pro zajištění kvalitních a reprodukovatelných dat je zapotřebí termické analyzátoři kalibrovat. Kalibruje se teplota

a v případě TGA metody i hmotnost. Hmotnost se kalibruje hmotnostními standardy, které jsou dodány výrobcem. Kalibrace teploty využívá změn měřených vlastností v závislosti na měnící se teplotě. Jedná se například o teplotu tání, teplotu Curieho bodu, teplotu rozkladu aj. Nejpoužívanější měřená vlastnost pro kalibraci teploty je teplota tání kovových standardů (např. In, Zn, Au) [1, 3].

Tepelné jevy a termodynamika

V případě, kdy se signál termoanalytické křivky náhle změní, se jedná o tepelný jev. Tepelné jevy jsou způsobeny fyzikálními přeměnami nebo chemickými reakcemi probíhajícími v měřeném vzorku [5]. V **tab. 1** jsou uvedeny příklady tepelných jevů.

Při zahřívání látky dochází vlivem rostoucí teploty k nárůstu tepelného pohybu atomů, molekul či iontů, a to může vést například ke slinování, tání, sublimaci nebo ke změnám v krystalické struktuře [6]. Pokud jsou intramolekulární interakce slabší než intermolekulární interakce, může docházet k rozkladu na nové molekulární fragmenty, ze kterých některé mohou být v dosažené teplotě těkavé, a tedy ze systému odchází [6].

V případě, že se neměří v inertní atmosféře, může docházet k interakci mezi plynem atmosféry a vzorkem. V oxidační atmosféře se pak jedná o oxidaci anebo oxidativní rozklad. V situaci, kdy je měřena směs dvou a více pevných látek, může při zahřívání dojít ke vzájemné interakci, a tím i ke tvorbě nových sloučenin [3].

Většina fyzikálních a chemických přeměn je doprovázena změnou entalpie ΔH a v některých případech i změnou hmotnosti [6]. Změna entalpie je tedy pro metody termické

Tab. 1: Příklady fyzikální a chemických přeměn sledovaných pomocí termické analýzy [1]

Chemické procesy	Endotermické	Exotermické	Změna hmotnosti
Chemisorpce	×	✓	Nárůst
Dehydroxylace	✓	×	Úbytek
Rozklad	✓	✓	Úbytek
Oxidace	✓	✓	Nárůst/Úbytek
Polymerizace	×	✓	Nárůst
Fyzikální procesy	Endotermické	Exotermické	Změna hmotnosti
Krystalizace	×	✓	-
Tání	✓	×	-
Vypařování	✓	×	Úbytek
Sublimace	✓	×	Úbytek
Fázové přeměny	✓	✓	-

analýzy důležitá. První termodynamická věta představuje speciální formulaci zákona zachování energie. Když je teplo absorbované systémem při specifických podmínkách, například za konstantního tlaku (q_p), při kterém většina experimentů termické analýzy probíhá, mění se tepelná energie daného systému. Při izobarických podmínkách je tato změna reprezentována změnou entalpie [7]:

$$\Delta H = q_p \quad (1)$$

Za standardních podmínek (25 °C, atmosférický tlak) se používá standardní změna entalpie ΔH^ϕ , která se obecně vyjadřuje na mol látky. Nejdůležitější hodnotou entalpie je standardní slučovací entalpie ΔH_f^ϕ , která reprezentuje změnu entalpie, když 1 mol látky vznikne z chemických prvků v jejich standardním stavu [7]. V systému, ve kterém dochází k reakci, je entalpický rozdíl mezi produkty a reaktanty při specifikovaných podmínkách realizován jako teplo vyprodukované daným systémem. V případě, kdy dochází k absorpci tepla, jedná se o endotermní děj, v opačném případě, tedy uvolňování tepla, se jedná o exotermní děj [7]. Změna entalpie závisí na skupenství reaktantů a produktů a také na teplotě reakce. Pro korekci hodnoty entalpie je nutné znát tepelnou kapacitu všech zúčastněných složek. Tepelná kapacita C definuje množství absorbovaného tepla uzavřeného systému potřebného pro zvýšení jeho teploty o 1 K. Za konstantního tlaku platí rovnice [7]:

$$C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_p \quad (2)$$

Tepelná kapacita při konstantním tlaku C_p je kalorimetricky měřitelná veličina a lze pomocí ní vypočítat základní termodynamické veličiny jako je entalpie, entropie a Gibbsova energie při jakékoli teplotě [8]. Pomocí Gibbsovy volné energie G lze charakterizovat každou fyzikální a chemickou změnu [1]. Gibbsova energie souvisí se změnou entalpie H , absolutní teploty T a entropie S . Rovnice pro konstantní teplotu je následující [7]:

$$\Delta G = \Delta H \cdot T \Delta S \quad (3)$$

Každý systém se snaží dosáhnout stavu, který má nejnížší Gibbsovu volnou energii [1]. Aby reakce mohla probíhat spontánně, musí být hodnota ΔG záporná. Reakce, která je v rovnováze, má hodnotu ΔG nulovou. Druhý termodynamický zákon určuje směr, jakým reakce probíhají. Za hnací silou reakcí stojí změny jak entalpie ΔH , tak i entropie ΔS [7].

3. Metody termické analýzy

Nejstarší a nejjednodušší metodou je přímá termická analýza (TA). Pomocí TA metody se měří pohlcované nebo uvolňované teplo v důsledku fázové přeměny. Měří se tedy teplota v závislosti na čase. TA metoda se využívá pro stanovení teploty tání a tuhnutí u čistých látek (např. kovů) anebo také pro stanovení charakteristických teplot u slitin nebo jiných složitých soustav (např. teplota likvidu a solidu) [9]. Kromě jednoduché termické analýzy existuje také velké množství metod, které se od sebe liší sledovanou veličinou. Metody

termické analýzy je možné rozdělit do tří orientačních skupin: metody spojené se změnou obsahu složek (např. TGA, EGA), metody spojené se změnou tepelných vlastností (např. DSC, DTA) a metody spojené se změnou jiných fyzikálních vlastností (např. TMA, termomagnetometrie). V **tab. 2** jsou vypsány běžně používané metody termické analýzy. Vybrané metody budou detailněji popsány v následujících podkapitolách.

Tabulka 2: Přehled základních metod termické analýzy [7]

Název metody	Zkratka metody	Sledovaná veličina
Termogravimetrická analýza	TGA nebo TG	změna hmotnosti
Diferenční skenovací kalorimetrie	DSC	změny toku tepla
Diferenční termická analýza	DTA	teplotní rozdíl
Termická dilatometrická analýza	TDA nebo TD	délkové nebo objemové změny
Detekce/Analýza uvolněných plynů	EGD nebo EGA	detekce/analýza uvolněných plyných produktů
Elektrotermická analýza	ETA	změny elektrické vodivosti
Diferenční tlaková analýza	DPA	tlakový rozdíl
Termomechanická analýza	TMA	deformace vzorku
Dynamický mechanická analýza	DMA	mechanické a viskoelastické vlastnosti
Emanační termická analýza	ETA	množství uvolňovaného inertního plynu
Termooptometrie	-	změny vzhledu
Dielektrická termická analýza	DETA nebo DEA	dielektrická permitivita, ztrátový činitel

Existuje i několik méně častých metod termické analýzy. Jedná se například o termosonimetrii (TS), termomagnetometrii (TM), termoelektrometrii, termoakustometrii a termodifraktometrii. Termosonimetrie je technika, která je založená na měření zvuku, který je emitován v průběhu ohřívání nebo chlazení měřené látky. TS metoda je vhodná pro studium fázových přeměn a také nabízí výhody pro měření anorganických látek a minerálů, zejména vysokou citlivost a selektivitu [10]. Termomagnetometrie je technika, která měří magnetickou susceptibilitu látky jako funkci teploty. Metoda TM je využívána pro sledování magnetických změn a určování Curieových teplot. Uplatnění nachází zejména v oblasti mineralogie a metalurgie [11]. Termoelektrometrie není jedna metoda, ale skupina metod, které měří změny elektrických vlastností vzorku v závislosti na změně teploty [12]. Nejběžnější měřené elektrické vlastnosti jsou konduktivita, odpor, kapacita a dielektrické ztráty.

Termoakustometrie podobně jako termosonimetrie souvisí se zvukem, ale v případě této metody se sledují charakteristiky zvukových vln po jejich průchodu vzorkem. Termodifraktometrie podává informace o změnách krystalografických vlastností a změnách v zastoupení fází vzorku. K tomu je využito rentgenového difraktogramu vzorku snímaného v určitých časech a určeného teplotního programu.

Poslední typy používaných termických metod jsou kombinované metody, simultánní termická analýza (STA) a controlled-rate termická analýza (CRTA). Zde se nejedná přímo o nové techniky, ale spíše o metody, které určitým způsobem využívají metody stávající. V případě kombinovaných metod se jedná o postupné využití dvou a více metod pro analýzu vzorku. Kombinace je možná jak mezi termickými metodami, tak i s metodami mimo tento okruh (např. spektroskopické metody aj.) [1]. Simultánní termická analýza využívá rovněž dvou a více metod, ale rozdíl od kombinovaných metod je v tom, že měření vzorku probíhá ve stejný moment [7]. Výhoda metody STA je tedy v přípravě a množství potřebného vzorku, kde stačí pouze jeden vzorek na dané měření. Oproti tomu u kombinovaných metod je zapotřebí nový vzorek pro každé měření [1]. Mezi nejběžnější simultánní metody patří TGA-DSC a TGA-DTA, používány jsou ale i další, jako například TGA-EGD (EGA), DSC-TOA aj. Většina metod termické analýzy probíhá nadefinovaným teplotním programem, který se nemění v závislosti na probíhajících změnách ve vzorku. Od toho se liší metody controlled-rate termické analýzy, kde odezva vzorku do určité míry ovlivňuje průběh teplotního programu [13]. Tyto metody tedy v průběhu měření umožňují udržet změny měřených vlastností vzorku na konstantních hodnotách (například stále stejná ztráta hmotnosti) [7]. Příklady těchto metod jsou quasi-izotermní analýza (QIA), stepwise-izotermní analýza (SIA) a analýza kontroly reakční rychlosti [13, 14].

3.1 Termogravimetrická analýza (TGA)

Termogravimetrická analýza je technika, pomocí které se měří hmotnost vzorku v závislosti na teplotě nebo čase. Výsledkem měření je termogravimetrická křivka, která znázorňuje závislost hmotnosti na teplotě nebo čase. Touto metodou lze sledovat tepelné jevy, které se pojí se změnou hmotnosti. Není tedy možné sledovat jevy jako tání,

krystalizace a skelný přechod, ale lze sledovat změny jako rozklad, sublimace, desorpce, absorpce a vypařování [2]. Doplnkovou metodou k TGA je derivační termogravimetrická analýza (DTG nebo DTGA). DTG křivka znázorňuje rychlost změny hmotnosti v závislosti na čase [7]. Derivační TGA křivky dosáhneme toho, že místo zlomů se budou v DTG křivce nacházet píky (viz. obrázek 4). Výhodou DTG metody je přesnější a jednodušší rozlišení překrývajících se jevů. TGA přístroj je běžně kombinován s metodami DTA a DSC, ale také s metodami jako MS, FTIR nebo GC [2].

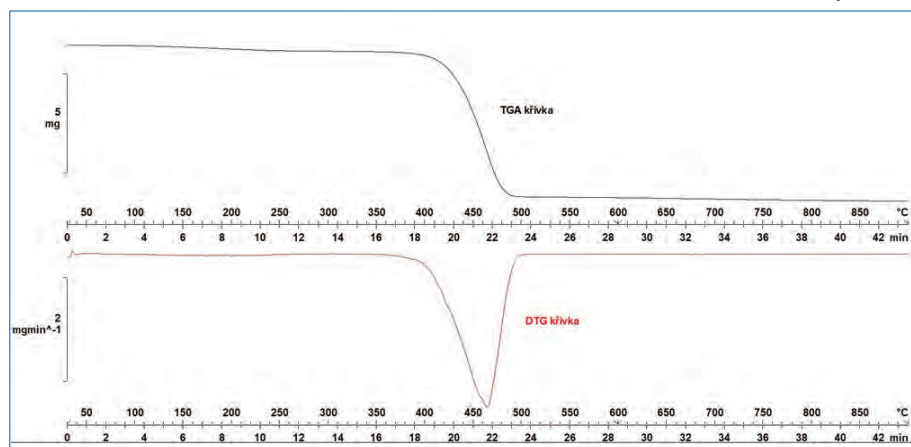
Měřicím zařízením u TGA přístroje jsou termováhy. Termováhy mohou mít jedno horizontální a dvě vertikální uspořádání. Odlišnost dvou vertikálních uspořádání spočívá v poloze vzorku. Top-loading varianta má vzorek položený na termováhách, hang down varianta má na termováhách vzorek zavěšený [15].

Parametrů ovlivňujících měření je velké množství, zde bude uvedeno jen několik hlavních. Jedná se o teplotní program, kde hraje roli rychlost ohřevu a také to, zda se jedná o dynamické nebo izotermní měření. Vliv pecní atmosféry závisí na reaktivitě plynů, tlaku a na druhu atmosféry (statická nebo dynamická). Dalším hlavním vlivem je navážka vzorku, homogenita vzorku, velikost částic. Materiál kelímku a to, jestli je zavřený víčkem nebo otevřený, má také vliv [15]. Důležitým parametrem, který velmi ovlivňuje měření a je nutné vždy na něj provést korekci, je vztlková síla. V případě, že bychom měřili inertní vzorek, který během měření nemění hmotnost, a neprovedli tuto korekci, bude vzorek stejně vykazovat nárůst hmotnosti [15]. To je způsobeno Archimédovým zákonem, protože plyn nadnáší vzorek a držák. Při změnách teplot dochází u plynů ke změně jejich hustoty za konstantního tlaku podle rovnice [15]:

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0}{T} \quad (4)$$

kde ρ_0 je hustota plynu za referenční teploty T_0 , která je 298 K (25 °C). T je měřená teplota v kelvinech. Při zvyšování teploty dochází ke snižování hustoty plynu, tím se snižuje vztlková síla, a to způsobí zdánlivou vyšší hmotnost vzorku [7]. Možností korekce je několik, například změření blanku s inertním vzorkem s podobným objemem a následné odečtení od naměřené křivky vzorku [7, 15]. Některé komerční přístroje nabízejí možnost automatické kompenzace na vztlkovou sílu, a tím ulehčují měření.

Laboratoř měření termofyzikálních vlastností materiálů na OI Praha disponuje přístrojem simultánní termické analýzy TGA/DSC od firmy Mettler Toledo. Přístroj je vybaven automatickou kompenzací vztlkové síly a má horizontální uspořádání termováhy. Jeho teplotní rozsah je od laboratorní teploty až do 1 100 °C s možností rychlosti ohřevu (0,02 – 150) °C/min. Rozlišení termováhy je 0,1 µg a její přesnost je 0,005 %. Sensor obsahuje 6 termočlánků a má rozlišení teploty 0,0003 °C.



Obr. 4: Porovnání křivek TGA a DTG)



Obr. 5: Pohled dovnitř picky TGA/DSC přístroje přítomného na OI Praha

3.2 Diferenční termická analýza (DTA)

DTA se využívá ke sledování změn ve fyzikálních a chemických vlastnostech měřeného vzorku. Tyto změny jsou provázány buď uvolňováním nebo spotřebováním tepla. Metoda tedy měří rozdíl teplot mezi analyzovaným vzorkem a referenčním vzorkem, který by neměl procházet těmito změnami [7]. Proto jsou kladeny na referenční materiál nároky, jako např. inertnost a stabilita v měřeném teplotním intervalu, co největší podobnost tepelné kapacity a tepelné vodivosti s měřeným vzorkem a také (v případě práškových vzorků) i stejná velikost částic [3]. Mezi nejčastěji používané referenční materiály patří Al_2O_3 , SiO_2 , MgO a případně i některé čisté kovy [3]. Teplotní rozdíl ΔT (K, $^\circ\text{C}$) nebo rozdíl napětí ΔE (mV) jsou zaznamenávány graficky v teplotní nebo časové závislosti.

DTA metoda má navíc dvě doplňkové metody. První z nich nese název derivační diferenční termická analýza (DDTA). Pomocí této metody se určuje časová derivace teplotního rozdílu mezi analyzovaným vzorkem a referenčním materiálem [1]. Výhoda využití DDTA spočívá v přesnějším a jednodušším rozlišení překrývajících se jevů. Druhá doplňková metoda je označována jako dvojitá diferenční termická analýza (dDTA), kdy se vzorek porovnává s referenční látkou, která je ale v tomto případě částečně reaktivní. Podstatou metody je kompenzace shodných procesů probíhajících při stejných teplotách s cílem získat kvalitnější základní linii, popřípadě eliminace některých efektů, a tím zvýšení rozlišovací schopnosti pro žádané efekty. Komplikací u této metody je nalezení vhodné referenční látky.

3.3 Diferenční skenovací kalorimetrie (DSC)

Metoda DSC vychází z původního principu metody DTA a obě metody jsou si velmi podobné v poskytování informací o vlastnostech měřených látek. Liší se ale v tom, že u DSC nejde o měření rozdílu teplot, ale o měření rozdílu tepelného toku (tepelného výkonu) mezi měřenou a referenční látkou [7]. Princip spočívá v udržení stejné teploty vzorku a referenčního materiálu, čehož se docílí buď

dotáním energie do vzorku (při endotermním ději) anebo do referenční látky (při exotermním ději) [1]. Výsledná křivka zobrazuje rozdíl v mW v závislosti na čase nebo teplotě. Existují dva typy DSC přístrojů: DSC s kompenzací výkonu a DSC s tepelným tokem. U DSC s kompenzací výkonu jsou měřený a referenční vzorek ohřívány zvlášť individuálními tepelnými zdroji. Teplotní rozdíl je udržován blízko nulové hodnoty a je měřen tepelný výkon potřebný k udržení rovnocenných teplot [7]. U DSC s tepelným tokem je ohřev ze stejného zdroje a je měřen teplotní rozdíl, který je poté převeden na rozdíl tepelného výkonu [2]. Měřicím zařízením u DSC jsou termočlánky.

Parametry ovlivňující DSC měření jsou částečně podobné jako u metody TGA (tedy pecní atmosféra, navážka vzorku, reakce s kelímkem aj.). U DSC je velmi důležitý dobrý tepelný kontakt se dnem kelímku [15]. U kapalin, přitlačených prášků a plochých vzorků tento problém nehrozí, ale například granule již nejsou tak vhodné. Během měření nevhodného tvaru by docházelo k postupnému tání vzorku, a tím by vrchní částí vzorku přicházely do kontaktu se dnem později, což se na křivce projeví vytvořením více píků.

DSC má široké využití například ve farmaceutickém, potravinářském nebo polymerním průmyslu. Pomocí této metody lze měřit tepelnou kapacitu, entalpie, teploty tání, krystalizaci, reakční kinetiku, skelné přechody a mnoho dalších vlastností [5]. Výhodou metody DSC je například potřeba malého množství vzorku a také vyšší přesnost oproti metodě DTA. Nevýhodou DSC je, že běžné přístroje dosahují pouze $400\text{ }^\circ\text{C}$ a moderní přístroje dosahují až do $700\text{ }^\circ\text{C}$.

Laboratoř měření termofyzikálních vlastností materiálů na ČMI OI Praha rovněž disponuje přístrojem DSC od firmy Mettler Toledo. Jeho teplotní rozsah je (-90 až 500) $^\circ\text{C}$ s možností rychlosti ohřevu ($0,02 - 300$) $^\circ\text{C}/\text{min}$. Rozlišení keramického DSC senzoru je $0,04\text{ }\mu\text{W}$ a celkový počet termočlánků je 56.



Obr. 6: Pohled do picky DSC přístroje přítomného na OI Praha

3.4 Termooptometrie

Termooptometrie je souhrn metod, pomocí kterých se sledují změny optických vlastností vzorku v závislosti na teplotě. Metody spadající do této skupiny jsou

termomikroskopie, termofotometrie, termospektrometrie, termorefraktometrie a termoluminiscence [16]. Termomikroskopie (také termooptická analýza, TOA) je technika, která spojuje termickou analýzu a mikroskopii pro charakterizaci materiálů v závislosti na teplotě nebo čase [17]. Pro termickou analýzu transmisním mikroskopem se používá metoda zvaná hot-stage mikroskopie (HSM) [5]. Pro termickou analýzu lze využít i odrazové mikroskopy ve spojení s DSC [5]. HSM lze využít pro studium morfologie, polymorfismu, fázových přechodů a dalších chemických a fyzikálních vlastností. Tuto metodu lze také využít ve spojení s jinými metodami, jako je DSC, TGA, SEM nebo FTIR [17]. HSM má široké spektrum využití, například ve farmaceutickém, kosmetickém, potravinářském a polymerním průmyslu. Termofotometrie měří celkové odražené nebo propuštěné světlo vzorkem [16]. Termospektrometrie je kombinací termické analýzy a atomové nebo molekulové spektrometrie. Pomocí této metody lze měřit světlo o specifické vlnové délce nebo také například rozkladné procesy kapalin, plynů a nanočástic [18]. Termorefraktometrie měří změny indexu lomu. Poslední metodou je termoluminiscence (TL), což je forma luminiscence, která probíhá u některých krystalických materiálů při zahřátí na teplotu v rozsahu (400 až 450) °C [19]. Princip spočívá v emisí záření ze vzorku, které se nachází ve viditelné a blízké UV oblasti elektromagnetického spektra. TL metoda nachází uplatnění například v dosimetrii nebo také archeologii a geologii, a to k datování nalezených objektů [20]

3.5 Termomechanická analýza (TMA)

Termomechanická analýza je metoda, která měří deformaci materiálu za působení neoscilačního namáhání v závislosti na teplotě nebo čase [2]. Zatížení materiálu může mít několik podob – stlačování, napínání, kroucení a ohýbání [7]. TMA rovněž monitoruje změny v rozměrech vzorku, a v případě nízkého napětí, které nezpůsobí deformaci, tím plní i funkci termodilatometrie [3]. Jestliže přístroj působí oscilačním zatížením, jedná se o dynamic-load TMA (DLTMA). Důležitou aplikací přístroje je měření lineárního koeficientu teplotní roztažnosti [15]. Je možné ale studovat mnoho dalších vlastností, jako například Youngův modul, skelný přechod, fázové přeměny, měknutí, tepelnou stabilitu aj. Uplatnění nachází TMA například v polymerním, textilním a chemickém průmyslu.

Laboratoř měření termofyzikálních vlastností materiálů na ČMI OI Praha bude v rámci několika měsíců disponovat přístrojem TMA.

4. Závěr

Termická analýza je velmi obsáhlý obor, do kterého spadá velké množství různých a zajímavých metod. V článku jsme si představili výhody a nevýhody termických metod, důležité základní pojmy, popsali jsme některé tepelné jevy a uvedli základy termodynamické teorie. Zároveň byly shrnuty běžné i méně používané metody termické analýzy a některé z nich byly popsány detailněji. Dvě z popsáných

metod jsou dostupné v laboratoři měření termofyzikálních vlastností materiálů na ČMI OI Praha – jedná se o simulánní metodu TGA/DSC a samostatně DSC. V rámci několika měsíců přibude do laboratoře další metoda, a to TMA. Přístroje rozšiřují možnosti služeb pro zákazníky, jako například měření tepelné kapacity, teploty tání, teplotní stability, teplotní roztažnosti aj.

Reference

1. A. Kloužková, P. Z., J. Kloužek, W. Pabst Termická analýza. <http://tresen.vscht.cz/sil/sites/default/files/Termick%C3%A1%20anal%C3%BDza.pdf>.
2. T. Hatakeyama, Z. L., *Handbook of Thermal Analysis*. Wiley: 1998.
3. Pavel Štarha, Z. T., Termická analýza. Univerzita Palackého v Olomouci: Olomouc, 2011.
4. al., M. N. e., Thermal Analysis in Practice. In *Tips and Hints* [Online] Mettler Toledo.
5. Wagner, M., Thermal Analysis in Practice. In *Collected Applications* [Online] Mettler Toledo: 2017.
6. Brown, M. E., Thermal Events. In *Introduction to Thermal Analysis*, Springer: 1988.
7. Haines, P. J., *Thermal Methods of Analysis: Principles, Applications and Problems*. 1995.
8. UTB Termické analýzy. http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_06.pdf.
9. VŠCHT Termická analýza - teorie. <http://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Termick%C3%A1%20anal%C3%BDza.pdf?redirected>.
10. Lønvik, K., Thermosonimetry. *Thermochimica Acta* 1987, 110, 253-264.
11. S. St. J. Warne, P. K. G., Thermomagnetometry. *Thermochimica Acta* 1987, 110, 269-279.
12. Wendlandt, W. W., Thermoelectrometry. A review of recent thermal analysis applications. *Thermochimica Acta* 1984, 73, 89-100.
13. Reading, M., Controlled Rate Thermal Analysis and Related Techniques. In *Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry*, Elsevier: 1998; Vol. 1, pp 423-443.
14. Hitachi High-Tech New Thermal Analysis Techniques. https://www.hitachi-hightech.com/file/global/pdf/products/science/tech/ana/thermal/descriptions/TA2-1_CRTA.pdf.
15. Gabbott, P., *Principles and Applications of Thermal Analysis*. 2008.
16. Brown, M. E., Thermooptometry. In *Introduction to Thermal Analysis*, Springer: 1988.
17. Arun Kumar, P. S., Arun Nanda, Hot stage microscopy and its application in pharmaceutical characterization. *Applied Microscopy* 2020, 50.
18. Dávid Nagy, C. F., József Posta, Thermospectrometry. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 2014, 115, 323-329.
19. McDougall, D. J., Thermoluminescence. *The Encyclopedia of Mineralogy* 1981.
20. Sunta, C. M., *Unraveling Thermoluminescence*. Springer: India, 2015.

POSOUZENÍ ELEKTROMAGNETICKÝCH INDUKČNÍCH MĚŘIDEL BODOVÉ RYCHLOSTI VODNÍHO PROUDU V PODMÍNKÁCH REÁLNÉHO PROUDĚNÍ

Ing. Michal Žoužela, Ph.D.;
Ing. Pavel Zubík, Ph.D.; Ing. Jiří Březina;
Bc. Martin Vítů

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

1. Úvod

V roce 2020 jsme v druhém čísle časopisu Metrologie [11] prezentovali výsledky dva roky trvajícího výzkumu v oblasti použití elektromagnetických indukčních měřidel (EMI měřidla) určených pro měření bodové rychlosti vodního proudu. Tento výzkum byl v letech 2018 a 2019 realizován za podpory Úřadu pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví v rámci úkolů Plánu rozvoje metrologie. Bližší informace ohledně geneze a důvodů pro realizaci příslušných výzkumných prací jsou popsány ve zmíněném článku [11] a [8, 9].

Z vyhodnocení provedených experimentálních prací, které se zabývaly vybranými metrologickými a technickými charakteristikami předmětných EMI měřidel, jsme shledali tato měřidla jako vhodná pro potřeby subjektů autorizovaných pro provádění úředního měření průtoku v profilech s volnou hladinou. Délka doporučeného recalibračního intervalu z provedených analýz byla stanovena na 2 roky.

Pro úplné potvrzení měřicí schopnosti EMI měřidel však bylo nutné provést jejich posouzení i v reálných proudových poměrech, nejlépe simulovaných vhodným způsobem v laboratorních podmínkách. Z těchto důvodů bylo na provedené experimentální práce navázáno i v roce 2020 třetím úkolem Plánu rozvoje metrologie.

Zatímco úkoly z let 2018 a 2019 se vedle teoretické části zabývaly posouzením mezilehlé preciznosti (replikovatelnosti), variability (rozptylu) měřených rychlostí a analýzou dlouhodobé stability měření nulové hodnoty rychlosti [8, 9] u šesti EMI měřidel, úkol v roce 2020 se zaměřil na nejistotu ve stanovení bodové rychlosti proudu a směrovou citlivost snímačů těchto EMI měřidel [10]. Vzhledem k časové náročnosti a rozsahu výzkumných prací v roce 2020 byly posuzovány pouze dva typy vybraných EMI měřidel.

Pro čtenáře, kteří neměli možnost se seznámit s příspěvkem [11], si dovolueme uvést, že obvykle se pro měření bodové rychlosti vodního proudu používají vodoměrné vrtule s rotačním prvkem (propelerem). Rozvoj v této oblasti však nespočívá jen ve zdokonalování vlastností vodoměrných vrtulí, ale i v použití měřidel pracujících na jiných principech. Takovými měřidly jsou právě EMI měřidla, která svým uživatelům rozšiřují možnosti využití a dovolují jim měřit bodovou rychlost proudu i v místech, kde by to s vodoměrnými vrtulemi bylo velmi komplikované či nebylo možné vůbec. Jedná se především o měření prováděná

v profilech stokových sítí se silně znečištěnou odpadní vodou obsahující látky ulpívající na propeleru vodoměrné vrtule a znemožňující dosažení správnosti měření. EMI měřidla jsou dle výrobců i závěrů našich prací [4, 8, 9] také vhodná pro měrné profily s velmi nízkými rychlostmi na prahu citlivosti běžných vodoměrných vrtulí. Taktéž je možné je využít při měření v profilech vodních toků zarostlých vegetací.

V předloženém příspěvku je pro zajištění jeho srozumitelnosti část 2 kapitoly identická s textem uvedeným v [11], jenž byl prezentován na stránkách tohoto časopisu v minulém roce.

2. Elektromagnetická měřidla bodové rychlosti vodního proudu

Z hlediska technických standardů a normativních podkladů je možné nalézt odkazy na EMI měřidla v následujících dokumentech.

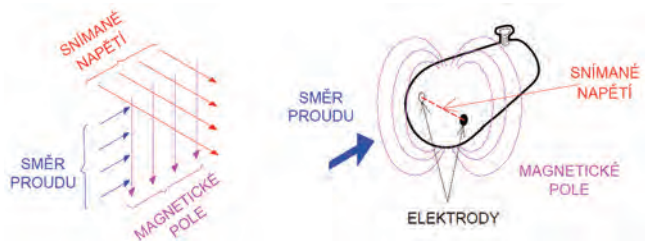
Zásadní normou pro měření průtoku v profilech s volnou hladinou definující způsoby stanovení průtoku metodou rychlostního pole (obvykle používaným názvem pro tuto metodu je hydrometrování) je ČSN EN ISO 748 [1]. Ta je určena především pro stanovení průtoku za pomoci vodoměrných vrtulí, zmiňuje však i možnost použití EMI měřidel. Je vhodné dodat, že stanovení průtoku metodou rychlostního pole je založeno na integraci bodových rychlostí přes plochu průtočného průřezu.

Uvedená norma odkazuje na dokument ISO/TS 15768 [2], který definuje požadavky na konstrukci, výběr a použití EMI měřidel v praxi a současně navazuje na dokument ISO/TR 11974 [7], jenž obsahuje především všeobecné informace k předmětným měřidlům a princip jejich fungování.

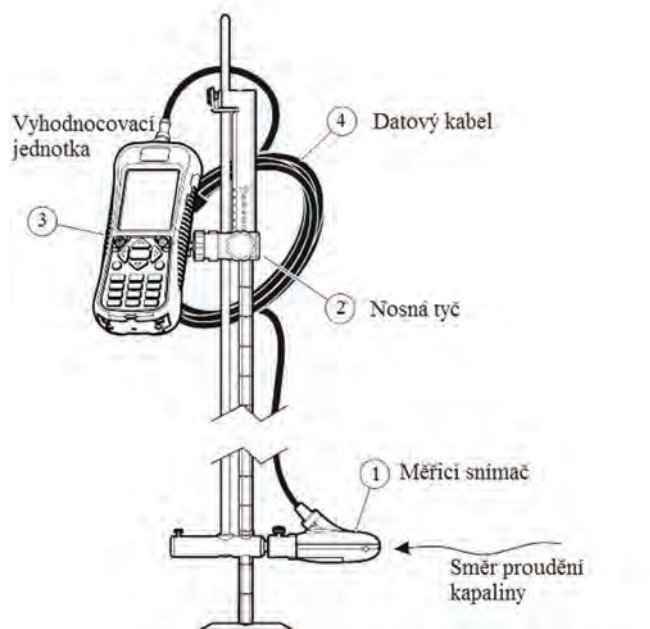
Způsob kalibrace EMI měřidel je, stejně jako pro vodoměrné vrtule, předepsán mezinárodní normou ISO 3455 [3]. Ta je v současné době revidována (výrazně redukována) tak, aby se postupy kalibrací měřidel bodových rychlostí více přiblížily mnohaletým zkušenostem pracovníků kalibračních laboratoří.

2.1 Princip fungování EMI měřidel

EMI měřidlo měří rychlost proudění kapaliny na principu elektromagnetické indukce, kdy se na koncích elektrického vodiče pohybujícího se v magnetickém poli vytváří elektrické napětí. Velikost tohoto napětí je následně přímo úměrná rychlosti pohybu tohoto vodiče. Prakticky je měřicí snímač měřidla zobrazený na **obr. 1** vybaven elektrickou cívkou, která vytváří magnetické pole. Dvojice uhlíkových elektrod následně měří napětí indukované rychlostí elektrického vodiče, kterým je v našem případě proudící voda. Naměřené napětí je elektronikou zařízení zpracováno a převedeno na rychlost [4, 5].



Obr. 1: Princip měření rychlosti kapaliny měřicím snímačem EMI měřidla [5]



Obr. 2: Obvyklá sestava EMI měřidla [4]

Obvyklá sestava přenosného EMI měřidla je patrná z obr. 2. Měřicí snímač, který se za pomoci nosné tyče umísťuje do konkrétního bodu v ploše měrného profilu, je připojen datovým kabelem k vyhodnocovací jednotce. Ta současně zajišťuje i elektrické napájení celé měřicí sestavy. Tato sestava – jednotka/kabel/snímač – musí být kalibrována vždy společně. Není tak možné mezi sebou kombinovat různé prvky z několika měřicích sestav bez dodatečného metrologického navázání.

2.2 Posuzované typy EMI měřidel

Experimentálním zkouškám byla podrobena dvě EMI měřidla. Tato měřidla byla zapůjčena od společnosti Pražské vodovody a kanalizace, a.s. (PVK) a Brněnské vodárny a kanalizace, a.s. (BVK). Technické a metrologické parametry posuzovaných EMI měřidel jsou dostupné na stránkách příslušných výrobců [4, 5] a v závěrečné zprávě [8]. Pro představu čtenáře je na obr. 3 zobrazena celá zkoušená sestava vyhodnocovací jednotky s kabelem a válcovým snímačem EMI měřidla FLO-Mate 2000 (BVK). Na obr. 4 je patrný druhý typ EMI měřidla MF Pro (PVK). Rychlosti měřené těmito snímači jsou vyhodnocovány z jejich bezprostředního okolí.



Obr. 3: Vyhodnocovací jednotka, kabel a snímač EMI-měřidla FLO-MATE 2000 (BVK)

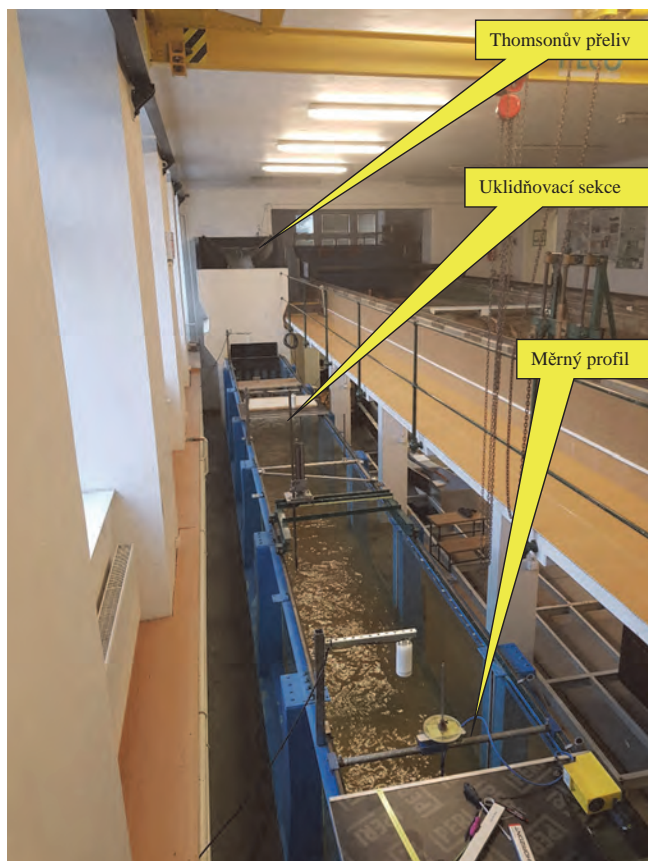


Obr. 4: Vyhodnocovací jednotka, kabel a snímač EMI-měřidla MF Pro (PVK)

3. Zkušební hydraulický měrný žlab a instalace EMI měřidel při jejich zkouškách

Experimentální zkoušky v souvislosti se stanovením nejistoty měření bodové rychlosti proudu a posouzení směrové citlivosti snímačů vybraných EMI měřidel probíhaly ve vybraném měrném profilu hydraulického měrného žlabu. Pro měření byl využíván nesklopný žlab s prosklenými bočními stěnami zobrazený na obr. 5, jenž je dlouhý 14 m a široký 1,0 m a v něm dosažitelná maximální průtočná kapacita činí 160 l.s⁻¹. Průtočné množství na tomto žlabu je měřeno pomocí metrologicky navázaného Thomsonova měrného přelivu. Žlab je napojen na čerpací stanici laboratoře, kterou je možné provozovat v automatickém či ručním režimu.

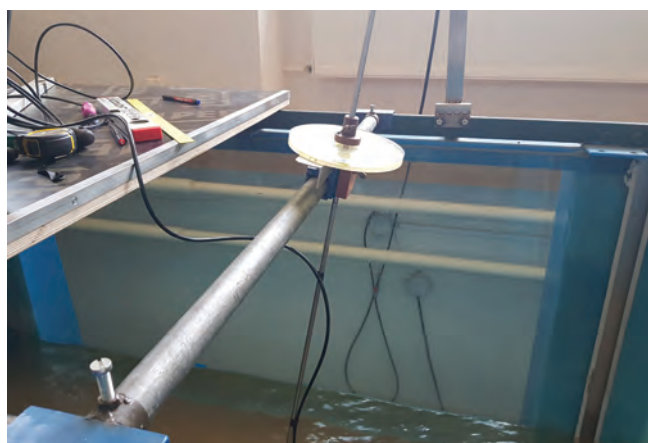
Nastavení polohy vodní hladiny v měrném žlabu bylo řízeno vertikálními žaluziemi na jeho konci. Úroveň hladiny byla sledována pomocí digitálního hrotového měřidla. Snímače posuzovaných EMI měřidel byly pomocí tyče upevněny ve smyslu obr. 6 do speciálního, pro tyto účely vyrobeného nosného zařízení, které umožňovalo umístit snímač měřidla do libovolného místa v měrném profilu a natočit jej pod zvoleným horizontálním i vertikálním úhlem.



Obr. 5: Protiproudňný pohled na hydraulický měřný žlab jmenovité šířky 1,0 m

Pro měření teplot v měrné trati, jež se pohybovaly okolo 18 °C, byl využit vpichovací kalibrovaný teploměr. Hodnota měrné vodivosti, která činila 450 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, byla stanovena přenosným konduktometrem.

Pro simulaci reálných podmínek v prostoru měrného profilu, které byly kvantifikovány intenzitou turbulence bodové rychlosti, byl použit do proudu svisle vložený prvek (prkno). V závislosti na půdorysné vzdálenosti mezi měrným profilem a tímto prvkem tak bylo možné velmi citlivě měnit příslušnou hodnotu intenzity turbulence bodové rychlosti při zachování její „konstantní“ hodnoty v měrném profilu hydraulického měrného žlabu.



Obr. 6: Nosné zařízení tyče EMI měřidla při měření ve vertikální rovině

4. Cíl experimentálních prací

Cílem experimentálních prací bylo v měrném profilu zkušebního hydraulického žlabu v podmínkách s kalibrovanými proudovými poměry zjistit relevantní data vykazovaná předmětnými EMI měřidly a na základě jejich zpracování:

- posoudit směrovou citlivost snímačů příslušných měřidel a
- stanovit nejistoty měření bodové rychlosti proudu.

Uvedené řešené oblasti a z nich vyplývající skutečnosti jsou popsány v následujících kapitolách.

5. Směrová citlivost snímačů EMI měřidel

5.1 Komponentnost měřidel bodové rychlosti

Do chyby ve stanovení bodové rychlosti se vnaší vliv police měřidla bodové rychlosti vzhledem k převládajícímu směru natékajícího proudu. Pro snížení, případně eliminaci tohoto faktoru je nezbytné věnovat pozornost správnému umístění snímače měřidla do měrného bodu tak, aby tělo snímače směřovalo kolmo na rovinu měrného profilu, obzvláště v případech praktického měření, kdy je často v důsledku zakalení vizuální kontrola polohy měřidla znemožněna.

Měřidla bodové rychlosti se z tohoto pohledu rozdělují na komponentní a nekomponentní. Komponentní měřidlo při natočení své podélné osy od natékajícího proudu o úhel α zaznamená s dostatečnou přesností složku (komponentu) bodové rychlosti u_α , jejíž hodnota je dána vztahem:

$$u_\alpha = u_0 \cdot \cos \alpha, \quad (1)$$

kde u_0 je hodnota bodové rychlosti ve směru natékajícího proudu. V případě, že se měřidlo bodové rychlosti nechová ve smyslu vztahu (1), je považováno za nekomponentní. V tomto případě je na směr natékajícího proudu necitlivé (vykazuje stále stejnou rychlost při jakékoliv poloze snímače) nebo má svoji vlastní charakteristiku neodpovídající vztahu (1).

Pro zhodnocení míry komponentnosti je vhodné stanovit velikost relativní odchylky:

$$\omega = \frac{u_\alpha - u_0 \cdot \cos \alpha}{u_0 \cdot \cos \alpha} \quad (2)$$

Vlastnosti komponentních měřidel lze využít v případech měření průtoku v měrném profilu odkloněném od směru proudění o úhel α . Ve smyslu obr. 7 platí pro příslušné průřezové charakteristiky vztah:

$$B_0 \cdot v_0 = B_\alpha \cdot v_\alpha \quad (3)$$

Z těchto důvodů je snahou dosáhnout co nejlepších komponentních vlastností měřidel již při jejich návrhu a výrobě. Dodejme, že ČSN EN ISO 748 [1] dokonce připouští měření v uvedených podmínkách, které nazývá tzv. šikmým prouděním.

Stanovení směrové citlivosti měřidla probíhá v laboratorních podmínkách tak, že se jeho snímač umísťuje pod známým úhlem odklonu od převládajícího směru přitékajícího proudu. Tento odklon lze realizovat jak v rovině horizontální, tak i v rovině vertikální.

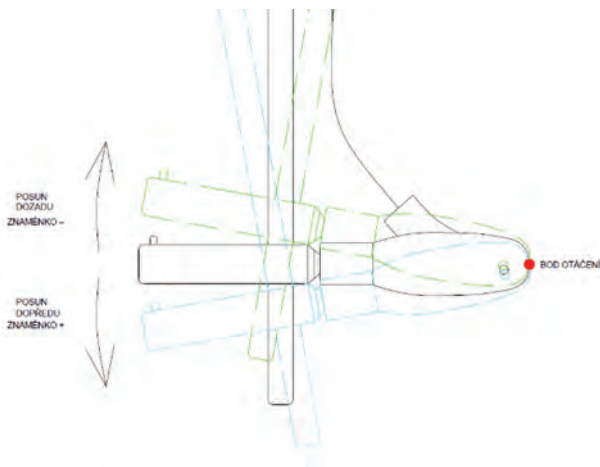


Obr. 7: Příklad využití měřidel s komponentními vlastnostmi

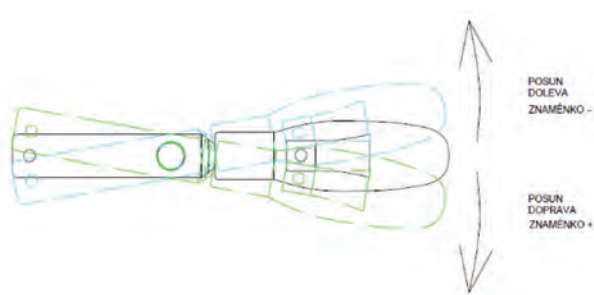
5.2 Postup měření a zpracování měřených parametrů

Směrová citlivost vybraných typů EMI měřidel byla posuzována pro tři rozdílné referenční rychlosti natékajícího proudu, vykazované vždy příslušným měřidlem při nulovém úhlu odklonu. Rychlosti se pohybovaly v okolí hodnot 0,08 m.s⁻¹; 0,3 m.s⁻¹ a 0,7 m.s⁻¹. Měrný bod byl umístěn přibližně ve středu průtočného profilu tak, aby byl eliminován vliv stěn a zvýšené turbulence vyskytující se při hladině. V měrném bodě bylo měřeno vždy třikrát po dobu 60 s a při natočení snímače měřidla od směru natékajícího proudu v horizontální rovině o úhel α , v rozsahu (0–20) ° a v rovině vertikální o úhly -10 ° -5 °, 5 ° a 10 ° (kladné úhly odpovídají pozici, kdy návodní čelo snímače měřidla je výše než jeho odtoková část). Schéma způsobu natočení snímače EMI měřidla v obou rovinách je patrné z obr. 8.

Vertikální natočení měřidla



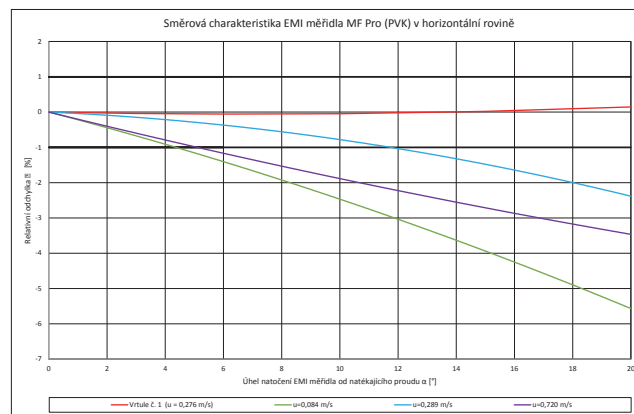
Horizontální natočení měřidla



Obr. 8: Natočení měřidla - nahoře ve vertikální rovině, dole v horizontální rovině

5.3 Vyhodnocení směrových charakteristik v horizontální rovině

Grafické vyjádření průběhu parametru ω , jenž je definován vztahem (2) v závislosti na úhlu odklonu od směru natékajícího proudu s tolerančními mezemi $\pm 1 \%$ tak, jak jsou používány i u vodoměrných vrtulí, je pro EMI měřidlo MF Pro (PVK) patrné z grafu 1.



Graf 1: Směrová charakteristika vyjádřená odchylkou ω v horizontální rovině – MF Pro (PVK)

Je zde pro porovnání vynesena shodná charakteristika směrové citlivosti i pro vodoměrnou vrtuli OTT HydroMet s propelerem č. 1 stanovená při rychlosti okolo 0,3 m.s⁻¹. Na první pohled je patrné, že EMI měřidlo se od „ideálních“ komponentních vlastností vodoměrné vrtule výrazně odlišuje. V případě měřidla MF Pro (PVK) lze opatrně potvrdit tvrzení výrobce, že do úhlu odklonu (6–10) ° se měřidlo chová relativně očekávatelně ve smyslu funkce $\cos \alpha$.

U druhého posuzovaného měřidla Flo-Mate 2000 (BVK) jsou komponentní vlastnosti v uvedených mezích potvrditelné pouze v řádu několika stupňů odklonu od směru natékajícího proudu. Měřidlo je prakticky bez komponentních vlastností a má svoji vlastní charakteristiku.

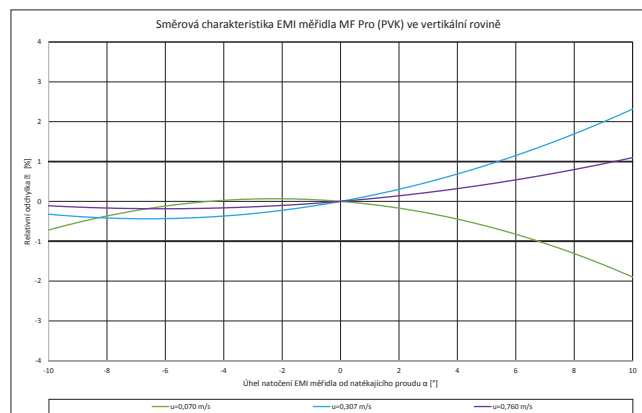
U obou měřidel odpovídají charakteristiky stanovené v horizontální rovině průběhu sudé funkce. Hodnoty bodových rychlostí odpovídající záporným úhlům natočení snímače měřidla jsou shodné s hodnotami naměřenými při identických úhlech, avšak s kladným znaménkem.

5.4 Vyhodnocení směrových charakteristik ve vertikální rovině

Z prvních dosažených výsledků vyplynulo, že směrové charakteristiky nejsou tak, jako při pohybu snímače měřidla v horizontální rovině pro shodné úhly (pouze s rozdílnými znaménky v jednotlivých kvadrantech) symetrické. Tato vlastnost je zřejmě způsobena vlivem shora do snímače připojeného datového kabelu či specifickým obtékáním obou posuzovaných snímačů, resp. místa instalace uhlíkových elektrod.

Míra komponentnosti pro EMI měřidlo MF Pro (PVK) je opět nejlépe patrná z grafického vyjádření průběhu odchylky ω tak, jak je uvedeno v grafu 2. Zatímco u měřidla MF Pro (PVK) lze v rozsahu úhlů od -10 ° do +6 ° v rámci

deklarovaných mezi hovořit o jistém komponentním chování, u měřidla Flo-Mate 2000 (BVK) nelze s komponentními vlastnostmi prakticky uvažovat. Měřidlo lze, stejně jako při měření v horizontální rovině, považovat za nekomponentní.



Graf 2: Směrová charakteristika vyjádřená odchylkou ω ve vertikální rovině – MF Pro (PVK)

5.5 Diskuze k dosaženým výsledkům

Ukázalo se, že u měřidla MF Pro (PVK) lze jeho směrovou charakteristiku v oblasti nízkých úhlů do $\pm 6^\circ$ odklonu snímače měřidla od směru natékajícího proudu chápat jako komponentní. Tato vlastnost se prokázala jak v rovině horizontální, tak prakticky i v rovině vertikální. Budeme-li chtít tedy měřidlo tohoto typu použít při výskytu „šikmého“ proudění, jak ho definuje ČSN EN ISO 748 [1], lze to provést tak, že vykazované rychlosti adekvátně korigujeme členem $\cos \alpha$ ve smyslu rovnice (1).

V případě měřidla Flo-Mate 2000 (BVK) nelze výše uvedený postup využít. Měřidlo nevykazuje komponentní vlastnosti.

Důležitým aspektem v této oblasti při použití všech měřidel bodové rychlosti proudu je spíše uvědomění si dopadu odklonu snímače měřidla od směru natékajícího proudu na vykazovanou rychlost v případě, kdy je prováděno „běžné“ měření, které není charakterizováno jako šikmé. Stává se to v případech měření ve znečištěné vodě, kdy polohu snímače EMI měřidla, stejně jako i vodoměrné vrtule, není možné vizuálně kontrolovat. Pokud není využito příslušných měřicích pomůcek, které zajistí, že měřidlo bude umístěno ve „správném“ směru, vzniká chyba. V případě komponentních měřidel tato chyba (vždy se projevující nižší než předpokládanou hodnotou měřené rychlosti) odpovídá kosinu příslušného chybného odklonění snímače měřidla.

Na základě dosažených výsledků je využití některých EMI měřidel v případě šikmého proudění v deklarovaných rozsazích možné, je však třeba vždy správným způsobem provést korekci vykazované rychlosti. Pro autorizované úřední měření průtoku v profilech s volnou hladinou však bylo rozhodnuto, že měření za pomoci EMI měřidel v oblasti šikmého proudění je nepřipustné a nebude povoleno [10].

6. Nejistota měření bodové rychlosti snímači EMI měřidel

6.1 Vliv doby měření rychlosti v měrném bodě

Ačkoli jsou předpokládány podmínky ustáleného proudění, je okamžitá bodová rychlost v důsledku turbulence proudu náhodným jevem. Průměrná bodová rychlost, určená z měření v určitém bodě v konečném čase, bude vždy pouze jistým přiblížením ke skutečné časově střední bodové rychlosti. Volba doby měření v měrném bodě tak závisí především na typu použitého měřidla, absolutní hodnotě měřené rychlosti a její intenzitě turbulence, na umístění měrného bodu v měrném profilu a na počtu měrných bodů v měrném profilu. Nejistota hodnoty měřené rychlosti obecně s rostoucí dobou měření klesá. Bodovou rychlostí rozumíme rychlost určenou z konečného objemu kapaliny v okolí snímače příslušného měřidla.

Pro vodoměrné vrtule dle ČSN ISO EN 748 [1] se doporučuje měření provádět po dobu minimálně 30 s. V metrologickém předpisu MP 010 [6] se pracuje v těchto případech s intervalem od 15 s do 60 s. V případě EMI měřidel původní verze ČSN ISO EN 748 [1] doporučuje minimální dobu měření 10 s. V její novější verzi z roku 2008 již tato hodnota uvedena není. Z rozboru dostupných zdrojů se ukazuje, že se doporučované časy měření pohybují od 5 s přes 10 s [1] až po 50 s [2] či 60 s.

Každý uživatel by měl zvážit a v lepším případě, má-li tuto možnost, korigovat hodnoty nejistoty, resp. stanovit délku doby měření v měrném bodě pro své vlastní podmínky měření. Tato korekce má být provedena na základě měření turbulence v měrném bodě a z ní vypočtené autokorelační funkce, která vyjadřuje míru vzájemných závislostí fluktuace bodové rychlosti proudu s ohledem na délku doby měření v měrném bodě.

Je zřejmé, že není při praktických měřeních in situ možné zabývat se rozбором fluktuací bodové rychlosti proudu, natož určovat průběh autokorelační funkce. Tento postup lze však s úspěchem aplikovat v laboratorních podmínkách, do kterých se „přenesou“ podmínky, jež se realizují v reálných měrných tratích. Podmínky lze vhodně popsat intenzitou turbulence bodové rychlosti (především její podélné složky) stanovenou například z měření vodoměrnou vrtulí. Intenzita turbulence je definována jako poměr mezi směrodatnou odchylkou bodových rychlostí určených s danou vzorkovací periodou v dostatečně dlouhém časovém úseku a rychlostí průměrnou. Obvykle se používá vzorkovací perioda 10 s s tím, že celková doba měření dosahuje minimálně 1000 s. Výhodou tohoto přístupu je to, že hodnotu intenzity turbulence proudu lze za pomoci teorie statistiky a nejistot s využitím hodnot autokorelační funkce transformovat na příslušnou hledanou nejistotu měření bodové rychlosti proudu p_{Au} , a to v závislosti na době jejího měření v daném bodě.

Monitoring reálných proudových podmínek byl autory proveden v období let 2002 až 2005 [12]. Měření bodových rychlostí proudu a jejich fluktuací bylo realizováno in situ v celkem 20 profilech v místech, ve kterých se běžně provádějí úřední měření. Ve většině případů se jednalo o pravoúhlé měrné profily prizmatických tratí. Tato měření byla pro-

váděna jednou konkrétní vodoměrnou vrtulí OTT HydroMet s propelerem č. 1. Z výsledků vyplynulo, že se v reálných tratích prizmatických profilů vyskytují okrajové proudové podmínky popsané intenzitou turbulence přibližně v rozsahu (0,02–0,15).

6.2 Postup měření

Aby bylo možné zajistit přenos proudových parametrů (rychlostí a jejich intenzit turbulence) z reálných měrných tratí do měrných tratí hydraulické laboratoře při posouzení obou typů EMI měřidel, bylo třeba měření současně provádět i za použití výše zmíněné vodoměrné vrtule s propelerem č. 1. Experimentální práce tak probíhaly postupně se třemi měřidly.

Veškerá měření v laboratorních podmínkách byla provedena po dobu 2000 s se vzorkovací periodou 10 s. Měrný bod byl umístěn ve střední části měrného profilu, 15 cm nade dnem měrného žlabu při hloubce proudu okolo 0,30 m. Zkoušky, tak jak je patrné z **tab. 1**, byly realizovány při třech referenčních rychlostech v rozsahu (0,10–0,55) m.s⁻¹ a intenzitách turbulence dosahujících hodnot téměř 0,10.

Po prvních provedených testech a komplexním vyhodnocení měření s vodoměrnou vrtulí bylo potvrzeno, že výsledky související s velikostí intenzity turbulence prezentované v **tab. 1** pro příslušné okrajové podmínky jsou v souladu s hodnotami, které byly odvozeny v letech 2002 až 2005. Právě z těchto hodnot jsou jejich transformací stanoveny hodnoty nejistot měření bodových rychlostí uváděných v MP 010 [6], které jsou využívány při výpočtech nejistot průtoku při aplikaci metody rychlostního pole a jsou tak obecně přijaty jako vyhovující a dostatečně validovaný standard.

Tab. 1: Parametry realizovaných měření v závislosti na kombinaci okrajových podmínek; hodnoty vztaženy k vodoměrné vrtuli s propelerem č. 1

Výkazovaná bodová rychlost <i>u</i> m.s ⁻¹	Intenzita turbulence
0,110	0,044
0,095	0,094
0,317	0,036
0,263	0,073
0,545	0,027
0,480	0,044

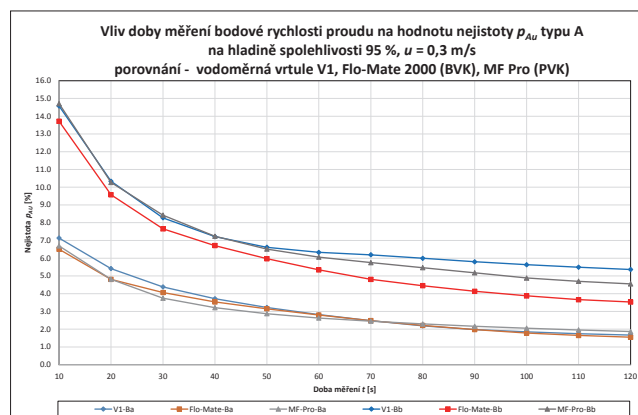
6.3 Výsledky měření a jejich diskuze

Vzhledem k velkému rozsahu prováděných prací není možné na tomto místě přinést komplexní popis postupného a relativně rozsáhlého vyhodnocení a zhodnocení dané problematiky. Výsledky stanovené jednotlivými měřidly jsou tak prezentovány pouze pro okrajové podmínky odpovídající dvěma úrovním intenzity turbulence v okolí rychlosti 0,3 m.s⁻¹.

V **grafu 3** jsou vyneseny příslušné hodnoty nejistoty měření bodové rychlosti proudu stanovené za těchto okra-

ových podmínek. Za nízké i vyšší intenzity turbulence proudu je dosažena velmi dobrá shoda napříč všemi výsledky. Všechna měřidla se chovají shodně, absolutní rychlosti i jejich příslušné směrodatné odchylky, potažmo nejistoty měření, jsou ve shodě. Maximální rozdíly v hodnotách nejistoty měření dosahují při střední intenzitě turbulence proudu 1 %. Tato hodnota je z hlediska věcné přesnosti naprosto zanedbatelná.

Velmi podobné výsledky se všemi třemi měřidly byly dosaženy i při ostatních okrajových podmínkách. Nejistoty měření bodové rychlosti proudu stanovené vodoměrnou vrtulí jsou v praktické shodě s daty, jež byla získána analýzou výsledků provedených s oběma typy EMI měřidel. Vzájemné rozdíly nejistot měření mezi jednotlivými měřidly za vyšších rychlostí a vyšších turbulencí dosahují jen jednotky procent.



Graf 3: Nejistota ve stanovení bodové rychlosti pro všechna posuzovaná měřidla, $u = 0,3$ m.s⁻¹

Hodnoty nejistot ve stanovení bodové rychlosti proudu p_{Au} jsou jedním ze vstupních zdrojů nejistot do celého matematického modelu výpočtu celkové nejistoty stanoveného průtoku a zjednodušeně pojato je jejich vliv při klasické metodě rychlostního pole snížen o odmocninu z počtu měrných bodů v měrném profilu. Pokud tak v měrném profilu budeme mít například 12 bodů, budou hodnoty nejistot uvedené v **grafu 3** sníženy o hodnotu $12^{0,5} = 3,5$. Dostáváme se tak na úroveň nejistoty měření, která je mnohdy oproti ostatním zdrojům (vliv počtu svislic, dopad malé hloubky proudu) ne tolik významná.

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

Na základě provedených experimentálních zkoušek v této oblasti bylo možné doporučit převzetí získaných výsledků do metrologického předpisu MP 010 [6]. Současně je možné s ohledem na jednoznačně lepší rozlišitelnost EMI měřidel připustit dobu měření v jednom měrném bodě pouze 10 s (výjimečně i 5 s) i za cenu nárůstu příslušné nejistoty měření. Tento přístup by však mělo, stejně jako u vodoměrných vrtulí, provázet zvýšení počtu měrných bodů v měrném profilu, případně opakování několika krátkých měření bodové rychlosti v jednom bodě.

7. Závěr

Příspěvek navazuje na výsledky Plánů rozvoje metrologie z let 2018 a 2019, jež byly prezentovány v druhém čísle časopisu Metrologie v minulém roce [11]. Příspěvek prezentuje výsledky experimentálních prací realizovaných v roce 2020 s vybranými elektromagnetickými indukčními měřidly bodové rychlosti vodního proudu.

Práce byly zaměřeny na směrovou citlivost snímačů měřidel a nejistotu jimi měřené bodové rychlosti v závislosti na okrajových podmínkách přenesených z reálných prizmatických tratí, v nichž voda proudí s volnou hladinou.

Na základě provedených analýz byla předmětná měřidla doporučena k použití v oblasti úředního měření průtoku vody metodou rychlostního pole. V relevantní míře tak byly v prvním čtvrtletí roku 2021 do metrologického předpisu MP 010 [6] vhodně implementovány získané poznatky tak, aby byly co nejdříve k dispozici autorizovaným subjektům, jež chtějí tento typ měřidel pro svá měření využívat. Pro bližší informace tak doporučujeme případným zájemcům seznámit se s novou verzí tohoto metrologického předpisu, který je volně dostupný na webových stránkách Českého metrologického institutu.

Prezentované výsledky a řada textových pasáží jsou shodné se zdroji závěrečných zpráv Plánů rozvoje metrologie [8, 9, 10].

Poděkování

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



8. Použitá literatura

- [1] ČSN EN ISO 748. Hydrometrie – Měření průtoku kapalin v otevřených korytech použitím vodoměrných vrtulí a plováků. Český normalizační institut, Praha 2001 a 2008
- [2] ISO/TS 15768. Measurement of liquid velocity in open channels – Design, selection and use of electromagnetic current meters. Geneva 2000
- [3] ISO 3455. Hydrometry – Calibration of current-meters in straight open tanks. Geneva 2007
- [4] OTT Hydromet GmbH: OTT – katalog výrobce. <http://www.ott.com>. [Online] 2017
- [5] MARSH McBIRNEY Inc.: MARSH McBIRNEY – katalog výrobce. www.marsh.mcbirney.com. [Online] 2017
- [6] MP 010 Metrologický předpis – Úřední měření průtoku vody v profilech s volnou hladinou. Český metrologický institut, Brno 2018 (2021)
- [7] ISO/TR 11974. Measurement of liquid flow in open channels – Electromagnetic current meters. Geneva 1997
- [8] Žoužela, M., Zubík, P., Březina, J.: Posouzení použitelnosti měřidel bodové rychlosti proudu využívající elektromagnetického principu měření. Program rozvoje metrologie 2018 Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Výzkumná zpráva, LVV – FAST – VUT v Brně, 2018
- [9] Žoužela, M., Zubík, P., Vítů, M.: Experimentální stanovení metrologických charakteristik měřidel bodové rychlosti proudu využívající elektromagnetického principu měření. Program rozvoje metrologie 2019 Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Výzkumná zpráva, LVV – FAST – VUT v Brně, 2019
- [10] Žoužela, M., Zubík, P., Vítů, M.: Posouzení vybraných metrologických charakteristik měřidel bodové rychlosti vodního proudu využívající elektromagnetického principu měření. Program rozvoje metrologie 2020 Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Výzkumná zpráva, LVV – FAST – VUT v Brně, 2020
- [11] Žoužela, M., Zubík, P., Březina, J., Vítů, M.: Metrologické charakteristiky elektromagnetických měřidel bodové rychlosti vodního proudu. Metrologie, 2/2020, ISSN 1210-3543, str. 7 – 14. Praha 2020
- [12] Žoužela, M.: Posouzení metod pro měření a vyhodnocení rychlostních polí reálných prizmatických tratí při definovaných proudových poměrech s volnou hladinou. Ph.D. Thesis, LVV – FAST – VUT v Brně, 2005



Novým generálním ředitelem Českého metrologického institutu se 1. května 2021 stal doc. RNDr. Jiří Tesař, Ph.D. Dosavadního odborného ředitele pro fundamentální metrologii a statutárního zástupce do funkce jmenoval místopředseda vlády a ministr průmyslu a obchodu Karel Havlíček poté, co na svoji funkci rezignoval dosavadní dlouholetý generální ředitel RNDr. Pavel Klenovský, který byl nově jmenován do funkce odborného ředitele pro fundamentální metrologii a statutárního zástupce ČMI.

REGULAČNÍ DIAGRAMY A JEJICH VYUŽITÍ V ŘÍZENÍ KVALITY I V METROLOGII

Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc.

Doc. Ing. František Tůma, CSc.

Západočeská univerzita v Plzni

Úvod

V hromadné a sériové výrobě se používají některé nástroje řízení kvality, které využívají dvě matematické disciplíny – matematickou statistiku a pravděpodobnost. Jejich základní pojmy a vztahy jsou uvedeny v normě, která obsahuje tři části, a to:

ČSN ISO 3534 Statistika - Slovník a značky

- 1. část: Obecné statistické termíny a termíny používané v pravděpodobnosti
- 2. část: Aplikovaná statistika
- 3. část: Navrhování experimentů

Zatímco 2. část se využívá zejména při řešení statistické regulace a statistické přejímky, 3. část uvádí vyšší nástroj řízení kvality, kterým je navrhování experimentů, označované jako DOE (Design of Experiments).

K statistickému řešení kvality výroby a výrobků se používají tři skupiny norem, které řeší:

- Vzorkování materiálů sypkých, kapalných nebo plyných (vhodný výběr kontrolovaných entit),
- Statistickou regulaci (preventivní nástroj, který sleduje kvalitu během výrobního procesu, upravuje proces dříve, než dojde k výrobě neshodných výrobků),
- Statistickou přejímku (řeší vztahy dodavatel – odběratel, kontrolu předem dohodnuté kvality hotových výrobků nebo jejich částí). [1] [3]

1. Charakteristika a princip statistické regulace

Statistická regulace udržuje výrobní technologický proces v ustáleném nebo požadovaném stavu, představuje sledování a řízení procesu statistickými metodami tak, aby byla udržena kvalita výrobků na požadované úrovni. Účelem regulace je určit podle výsledků kontroly malého počtu výrobků odebraných z výrobní dávky za určitý časový interval, zda působením nějakého systematického jevu nenastaly takové změny, které by ohrozily splnění požadavků na kvalitu. Statistická regulace má preventivní charakter, umožňuje zásah do výroby ještě před skutečným výskytem neshodných výrobků. [2] [5]

Proces je charakterizován výstupními regulovanými veličinami, které jsou z hlediska matematické statistiky náhodnými veličinami se známým rozdělením o neznámých parametrech. Podstatou statistické regulace je opakované rozhodnutí o tom, která situace nastává:

- 1) na regulovanou veličinu působí jen náhodné vlivy - proces je pod statistickou kontrolou,
- 2) na regulovanou veličinu působí i systematické vlivy - regulovaná veličina nemá parametry rozdělení trvale na požadovaných úrovních, není tedy pod statistickou kontrolou.

Grafickým prostředkem ke statistické regulaci je **regulační diagram**. V každém regulačním diagramu jsou vyznačeny **regulační meze**, které se stanoví podle zásad pro zvolenou metodu regulace. Regulační meze představují hodnoty (intervaly), v nichž se mají pohybovat výběrové ukazatele za předpokladu, že je proces stabilní. Regulační meze poskytují tedy určité kritérium pro posouzení stability výrobního procesu. Dostane-li se výběrový ukazatel mezi regulační meze, pokládáme průběh výrobního procesu za uspokojivý z hlediska stabilizace. Překročí-li hodnota výběrového ukazatele tyto meze, znamená to, že stabilita je porušena.

Na základě zkušenosti z práce s regulačními mezemi vznikla další kritéria (vymezené příčiny, viz dále). V takových případech je nutné hledat příčinu porušení stability a provést opatření, která zaručí návrat do stabilizovaného stavu. [12]

Metody regulace se dělí podle způsobu a podle prostředků, jimiž se provádí kontrola sledovaného znaku. Při regulaci **měřením** je znak vyjádřen spojitou kvantitativní veličinou, regulace **srovnáváním** užívá znaky kvalitativní.

Dále se metody regulace dělí podle toho, jaký výběrový ukazatel byl použit. Při volbě metody je nutno vycházet z požadavků na přesnost a účinnost kontroly uvažovaného znaku kvality.

Volba vhodných diagramů závisí také na rozsahu výběru n_i v podskupině u regulace měřením a zda je (nebo není) rozsah n konstantní u neshodných jednotek nebo neshod u regulace srovnáváním.

V případě kvantitativních údajů se sestavují dva typy regulačních diagramů, zaměřené na ukazatele polohy (výběrový průměr, průměr podskupiny nebo medián) a ukazatele rozptýlení, variability (rozpětí nebo výběrová směrodatná odchylka). U regulačních diagramů měřením se předpokládá normální rozdělení, které má dva parametry $N(\mu, \sigma^2)$ a výsledky řešení těchto regulačních diagramů platí za předpokladu, že tomu odpovídá pravděpodobnostní rozdělení. [13]

Tab. 1: Diagramy používané pro statistickou regulaci měřením

Měřitelné znaky kvality	
n (rozsah výběru v podskupině)	dvojice diagramů
1	individuální hodnoty X_i a klouzavé rozpětí R_{kl}
2 – 10	průměr podskupiny \bar{X} a rozpětí R nebo medián Me a rozpětí R
více než 10	průměr podskupiny \bar{X} a výběrová směrodatná odchylka s

V případě kvalitativních údajů se zjišťuje přítomnost (nebo naopak nepřítomnost) určitého znaku nebo vlastnosti.

Vyhodnocuje se pouze jeden diagram, a to buď *p*-diagram (nebo *np*-diagram), který je založen na binomickém rozdělení nebo *c*-diagram (nebo *u*-diagram), který je založen na Poissonově rozdělení.

Tab. 2: Diagramy používané pro statistickou regulaci srovnáváním

Počitatelné znaky kvality		
	Je počet hodnot <i>n</i> v podskupině konstantní?	Vhodný diagram
Neshodné jednotky	ano	<i>np</i> (počet neshodných jednotek v podskupině) <i>p</i> (podíl neshodných jednotek v podskupině)
	ne	<i>p</i> (podíl neshodných jednotek v podskupině)
Neshody	ano	<i>c</i> (počet neshod v podskupině) <i>u</i> (průměrný počet neshod na jednotku v podskupině)
	ne	<i>u</i> (průměrný počet neshod na jednotku v podskupině)

Při stanovení regulačních mezí i jednotlivých metod regulace měřením je nutno vycházet ze skutečných vlastností výrobního zařízení a schopnosti dodržet technologické předpisy. Při regulaci měřením je sledován měřitelný znak kvality pomocí přesných měřidel; pro regulaci srovnáváním stačí pouze údaj, zda výrobek vyhovuje nebo nevyhovuje zadání zákazníka.

Obecně platí, že regulační diagram jako grafický prostředek využívá principy statistických testů významnosti. Při aplikaci regulačních diagramů mohou nastat dva možné typy chyb (jako při testování hypotéz), a to:

- a) riziko zbytečného signálu - chyba 1. druhu (α), která nastává, pokud zůstane výrobní proces ve statisticky zvládnutém stavu, ale hodnota výjimečně padne mimo regulační meze. Dojde k nesprávnému pokusu o hledání příčiny neexistujícího problému.
- b) naopak při riziku chybnějšího signálu - chybě 2. druhu (β) je výrobní proces ve stavu statisticky nezvládnutém, ale změřená hodnota je náhodou uvnitř regulačních mezí. Nejčastěji používané regulační diagramy Shewhartovy využívají pouze chybu 1. druhu. [6]

Teorie regulačních diagramů rozlišuje dva typy variability:

- a) variabilitu 1. typu, působí-li na regulovanou veličinu jen náhodné vlivy, má regulovaná veličina stále pravděpodobnostní rozdělení s parametry v požadovaných mezích. Výrobní proces je ve statisticky zvládnutelném stavu.
- b) variabilitu 2. typu, pokud na regulovanou veličinu působí i systematické vlivy, regulovaná veličina nemá parametry pravděpodobnostního rozdělení na trvale požadovaných úrovních. Příčiny mohou být v nehomogenitě materiálu,

poškozeném nástroji, v nevhodných postupech nebo nepravidelném chodu výroby. Tento typ představuje reálnou změnu ve výrobním procesu.

Příčiny statistické nestability se prověřují vhodnými testy statistických hypotéz. Regulace měřením předpokládá normální rozdělení hustoty pravděpodobnosti regulované veličiny, parametry vstupních regulačních podmínek jsou skutečná hodnota a směrodatná odchylka.

- 1) Stanoví se požadovaná úroveň střední hodnoty regulované veličiny:

Buď je dána vnějšími technickými požadavky (např. požadavek zákazníka) nebo se odhaduje dlouhodobý průměr hodnot regulované veličiny

$$\mu_0 \approx \bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i \tag{1.1}$$

- 2) Odhad rozptylu:

- a) z výběrové směrodatné odchylky

$$\sigma \approx s = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{x})^2} \tag{1.2}$$

Pro dostatečnou přesnost odhadu je třeba volit $m \geq 200$. Protože odhad veličin je součástí rozboru výrobního procesu, který není dosud ustálený, je obtížné získat časovou řadu o $m = 200$ hodnotách (tj. 40 x 5 hodnot nebo 50 x 4 hodnoty v podskupině), aby se neměnila v té době variabilita regulované veličiny. Proto se raději pro odhad σ volí *k* skupin po *n* hodnotách a předpokládáme, že v každé skupině (podskupině, výběru) je stejná variabilita:

$$\sigma \approx \sqrt{\frac{1}{k(n-1)} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_i)^2} \tag{1.3}$$

Pro dostatečnou přesnost odhadu platí $k(n-1) \geq 200$.

- b) Odhad σ pomocí průměrného výběrového rozpětí \bar{R} :

$$\sigma \approx \bar{R} / d_2 \tag{1.4}$$

kde

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i \tag{1.5}$$

d_2 je tabelovaná hodnota, R_i jsou dílčí rozpětí v jednotlivých podskupinách.

Pro $n > 10$ se tento výpočet odhadu variability nepoužívá.

Příklady změny variability sledovaného procesu byly dobře ukázány v dnes již neplatné normě ČSN ISO 21747. [16]

Etapy statistické regulace

Statistická regulace výrobního procesu (SPC) se řeší v následujících etapách:

- a) **Přípravná etapa** se zabývá rozбором výrobního procesu: zde zjišťujeme, zda proces je statisticky způsobilý, tzn., že zjišťujeme příčiny eventuální nestability, zda a jak je možné proces stabilizovat.

Použitými nástroji jsou histogramy, diagram stability ($\bar{x} \pm \sigma$).

b) Vlastní regulace obsahuje dvě dílčí etapy:

1. etapa - uvedení procesu do požadovaného stavu (léčení procesu):

tato etapa nastává, pokud proces není ustálen a dochází často ke změně parametrů rozdělení pravděpodobnosti regulované veličiny a podmínek regulace.

Jako vhodné nástroje se využívají jednoduché regulační diagramy, analýza příčin (Ishikawův diagram, brainstorming) a testy zvláštních příčin. Cílem je vyhledat příčiny, které vedou k nestabilitě a odstranit je.

2. etapa - udržování procesu v požadovaném stavu:

pracuje se dlouhodobě s regulačními diagramy, jejichž úkolem je zjistit občasné výkyvy v procesu a vrátit proces do původního stavu (řízení musí být účinné i hospodárné).

Nástroje: diagram stability (regulační diagram, regulační karta), který je prostředkem ke zjištění, zda je proces statisticky stabilní.

c) Zlepšování procesu:

využívá nástroje jako v 1. etapě. Tato etapa může být řazena do vyšších nástrojů řízení kvality.

2. Typy regulačních diagramů

2.1 Shewhartovy regulační diagramy

Shewhartovy regulační diagramy pomáhají při sledování kolísání údajů, získaných z opakujících se dějů a hledají kritéria pro odhalení jejich příčin. Do Shewhartova regulačního diagramu se zaznamenávají údaje v pravidelných intervalech. Intervaly mohou být časové nebo kvantitativní. Obvykle se vytvářejí podskupiny stejných výrobků nebo stejných služeb, které mají stejné měřitelné jednotky a stejný rozsah podskupiny. (Je snazší vybrat a určit kvalitu 20 podskupin s 10 kusy výrobků než kvalitu souboru 200 kusů výrobků najednou.) V každé podskupině se určuje aritmetický průměr \bar{X} nebo medián Me a rozpětí R nebo směrodatná odchylka.

Existují Shewhartovy diagramy:

- měřením, je-li regulovaná veličina spojitá,
 - srovnáváním, je-li regulovaná veličina diskrétní.
- Pro tyto regulační diagramy existují 2 odlišné situace:

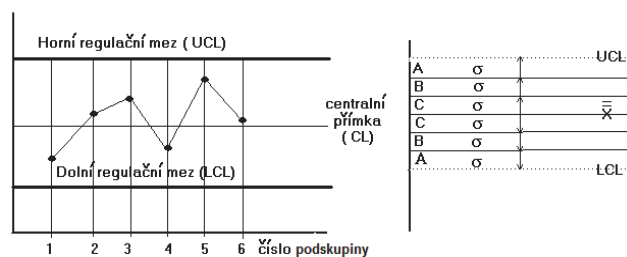
a) základní hodnoty jsou stanoveny (předem stanovené regulační meze): Účelem je identifikovat, zda hodnoty z podskupin o n pozorováních se liší od hodnot základního souboru více než je možné náhodností. Hodnoty, které považujeme za hodnoty základního souboru (např. \bar{X}_0, σ_0), se stanovují vyšetřením předběžných údajů, které jsou typické pro analyzovaný proces.

b) základní hodnoty nejsou stanoveny (odhadované regulační meze): Regulační diagramy pracují s údaji, které jsou z výběrů (např. \bar{X}, σ), kde kolísání hodnot může být způsobeno i jinými než náhodnými vlivy.

Diagram se skládá z centrální přímky CL (obvykle průměrná hodnota některého sledovaného znaku nebo hodnota zadaná zákazníkem) a dvou statisticky stanovených regulačních mezí, které se nazývají horní (UCL) a dolní (LCL) regulační mez.

2.2 Shewhartovy regulační diagramy měřením

Regulační meze jsou ve vzdálenosti $\pm 3\sigma$ od centrální přímky, kde σ je směrodatná odchylka příslušného souboru, z něhož se odebírají podskupiny. Variabilita uvnitř podskupiny se používá jako míra náhodného kolísání. K odhadu σ se použijí výběrové směrodatné odchylky s (nebo příslušná výběrová rozpětí). Hodnota σ nezahrnuje kolísání od jedné podskupiny ke druhé, ale pouze uvnitř podskupin. Možnost překročení mezí $\pm 3\sigma$ je u stabilizovaného procesu pouze 0,27 %, proto se tyto **meze** nazývají také **akční** (v regulačním diagramu jsou vyjádřeny vnější hranicí zóny A), (**obr. 1**).



Obr. 1: Shewhartův regulační diagram dle ČSN ISO 7870-2 [1] [6] (dříve ČSN ISO 8258)

Do regulačních diagramů značí také meze $\pm 2\sigma$, které se nazývají také **meze varovné**, neboť každá výběrová hodnota, která padne mimo tyto meze, varuje, že výrobní proces může být statisticky nezpůsobilý (vyznačeno jako hranice zóny B a A).

Zóna C je v diagramu vyznačena v mezích $\pm \sigma$, v ustáleném stavu jsou naměřené hodnoty v tomto intervalu s pravděpodobností 68,27 %. [5]

Diagram průměru ukazuje, kde je centrován výrobní proces a udává stabilitu procesu, ukazuje nežádoucí kolísání mezi jednotlivými podskupinami z hlediska jejich průměrů.

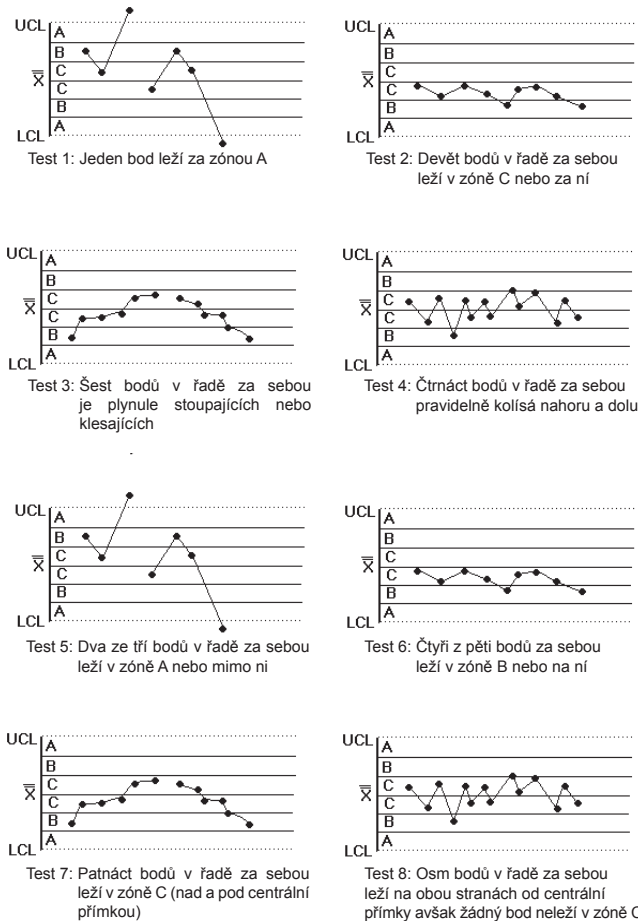
Diagramy rozpětí a směrodatných odchylek představují kolísání uvnitř podskupin, jsou ukazatelem variability výrobního procesu.

V normě ČSN ISO 8258 (Shewhartovy regulační diagramy) byla schematicky znázorněna skupina osmi testů používaných pro interpretaci určitých seskupení (**obr. 2**). V současné normě ČSN ISO 7870-2 jsou tyto testy uvedeny v příloze normy a v normě jsou uvedeny jen čtyři testy:

- Test 1 signalizující statisticky nezvládnutý stav,
- Test 2 signalizující, že střední hodnota procesu nebo variabilita se změnila vůči centrální přímce,
- Test 3 signalizující systematický lineární trend v procesu,
- Test 4 signalizující nenáhodné nebo cyklické seskupení v procesu.

Testy jsou naprogramovány i v některých statistických softwarech pro řízení kvality, aby uživatel měl možnost provést rychlou analýzu sledovaného procesu. Proto jsou tyto

testy chápány jako jednoduchá praktická pravidla pro zásah, kdykoliv se ukazuje přítomnost vymezených příčin. Náznak jakéhokoliv stavu specifikovaného v těchto testech je určitou předzvěstí přítomnosti vymezených příčin kolísání, které musí být diagnostikovány a opraveny. [2]



Obr. 2: Testy seskupení pro vymezené příčiny kolísání

2.3 Shewhartovy regulační diagramy srovnáváním

Používají se pro zaznamenání přítomnosti (nebo nepřítomnosti) určité vlastnosti (znaku) na každé jednotce v podskupině a napočítává se, kolik jednotek tento znak vykazuje (nebo naopak nevykazuje).

Výsledkem je záznam do jednoho diagramu (předpokládá se rozdělení, které má jeden nezávislý parametr).

Pro binomické rozdělení se použije:

- diagram pro podíl neshodných jednotek (p) nebo
- diagram pro počet neshodných jednotek (np).

Pro Poissonovo rozdělení:

- diagram pro počet neshod (c) nebo
- diagram pro počet neshod na jednotku (u).

Tab. 3: Diagramy srovnáváním, kdy nejsou stanoveny základní hodnoty

Centrální přímka	Regulační meze akční
\bar{p}	$\bar{p} \pm 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$
$n\bar{p}$	$n\bar{p} \pm 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$

\bar{c}	$\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$
\bar{u}	$\bar{u} \pm 3\sqrt{\bar{u}/n}$

Tab. 4: Diagramy srovnáváním, kdy jsou stanoveny základní hodnoty

Centrální přímka	Regulační meze akční
\bar{p}_0	$\bar{p}_0 \pm 3\sqrt{\bar{p}_0(1-\bar{p}_0)/n}$
$n\bar{p}_0$	$n\bar{p}_0 \pm 3\sqrt{n\bar{p}_0(1-\bar{p}_0)}$
\bar{c}_0	$\bar{c}_0 \pm 3\sqrt{\bar{c}_0}$
\bar{u}_0	$\bar{u}_0 \pm 3\sqrt{\bar{u}_0/n}$

Ukazuje se, že u Shewhartových diagramů jsou časté plochy, proto tyto diagramy platí v „užším“ slova smyslu, za předpokladu, $\bar{X} = \text{konst.}$

Doporučuje se kontrolovat, zda je u regulačních diagramů měření splněna podmínka normality naměřených dat, což je problematické zejména u diagramů s individuálními hodnotami, kde je velikost podskupiny $n_i = 1$. [2] [3] [4]

2.4 Přejímací regulační diagramy

Existují některé zdánlivě odlišné postupy, jak zvládnout faktory polohy, které přispívají k variabilitě nad rámec kolísání vyvolaného inherentní variabilitou procesu:

- Jeden způsob vyžaduje minimalizaci každé variability, která vede k odchylkám od cílové hodnoty. V tomto případě je snaha zlepšit způsobilost procesu, a tak udržet proces uvnitř mezních hodnot.
- Druhým způsobem je přístup, kdy splnění mezních hodnot může být nejen neekonomické a z hlediska prostředků příliš nákladné, ale navíc je pravděpodobné, že snižováním variability procesu dojde k nižší produktivitě. [7]

2.5 Diagramy CUSUM

Tyto diagramy jsou založené na kumulativních součtech. Jejich hlavní výhodou je rychlejší zjištění relativně malého posunutí střední hodnoty procesu. To se projevuje zejména porovnáním SPC s využitím Shewhartových diagramů. Ke konstrukci diagramů CUSUM se používá postupných součtů odchylek měřené veličiny od předepsané cílové hodnoty μ_0 . [8] [11]

$$S_i = \sum_{j=1}^i (X_j - \mu_0) \tag{2.1}$$

Reakce S_i na odchylku od μ_0 je mnohem citlivější než u Shewhartových diagramů.

2.6 Regulační diagramy pro aritmetický průměr s výstražnými mezemi

Tyto regulační diagramy jsou schopny odhalit menší posuny střední hodnoty regulovaného ukazatele kvality v důsledku vedlejších informací získaných z bodů umístěných ve výstražné oblasti. Mimo to, pokud hodnoty výběrových

průměrů padnou vně akčních mezí, lze zjistit neočekávané velké posuvy úrovně procesu. Ve srovnání s Shewhartovými regulačními diagramy jsou tyto regulační diagramy mnohem citlivější v případě méně významných změn a pozvolna se vytvářejících vychýlení sledovaného ukazatele kvality. [10]

3. Hodnocení způsobilosti a výkonnosti procesu

V regulačních diagramech jsou označeny centrální přímkou CL, horní regulační meze UCL, dolní regulační meze LCL – v těchto mezích by měla probíhat výroba. Další meze se nazývají horní toleranční UTL a dolní toleranční LTL (nebo specifikační USL a LSL) – jejich hodnoty jsou obvykle stanoveny zákazníkem. Abychom nevyrobili zmetky, měla by výroba probíhat v užších mezích (UCL – LCL) než jsou meze toleranční/specifikační – viz Tab. 5.

Způsobilost výrobního procesu je určena celkovým kolísáním zjišťovaných údajů, které je dáno pouze náhodnými příčinami. Dříve, než je stanovena způsobilost výrobního procesu, musí být tento proces uveden do statisticky zvládnutého stavu. Pomocí X - a R -diagramů se identifikují tzv. vymezené příčiny kolísání. O statisticky zvládnutém procesu hovoříme, pokud hodnocení alespoň posledních 25 podskupin vykazuje statisticky zvládnutý stav procesu.

Variabilita uvnitř podskupin je způsobena kolísáním sledovaného znaku uvnitř odebrané podskupiny výrobků. Její úroveň je dobrým odhadem pro inherentní variabilitu, pokud je proces ve zvládnutém stavu. Tato variabilita se vztahuje ke způsobilosti procesu.

Variabilita mezi podskupinami je vyvolána kolísáním procesu mezi podskupinami. Teoreticky by v procesu statisticky zvládnutém mělo být toto kolísání nulové nebo zanedbatelné.

Celková (totální) variabilita zahrnuje jak kolísání uvnitř podskupin, tak mezi podskupinami. Je vyvolána přítomností vymezených příčin ve statisticky nezvládnutých procesech. Tato variabilita se vztahuje k výkonnosti procesů.

3.1 Ukazatelé způsobilosti C_p , C_{pk} , C_{pm}

Způsobilost je schopnost uspokojit definované nároky na kvalitu procesu nebo produktu. Ukazatel způsobilosti je kvantitativní míra kvality. Výpočet porovnává definovanou (smluvní) a skutečnou směrodatnou odchylku znaku kvality. Směrodatná odchylka je míra variability (míra zvládnutí procesu či vlastnosti produktu). Variabilitu lze tedy použít jako míru kvality výrobku (s vyšší variabilitou kvalita klesá).

Ukazatel C_p určuje pouze vztah tolerančních mezí k rozmezí výrobního procesu, neurčuje polohu nebo jeho centrování. Velikost ukazatele způsobilosti určuje charakter výrobního procesu.

a) Ukazatel způsobilosti C_p charakterizuje možnosti procesu dané úrovní jeho inherentní variability.

1. klasická metoda výpočtu (platí pro normální rozdělení)

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}, \quad (3.1)$$

kde

USL horní toleranční mez,

LSL dolní toleranční mez,

σ směrodatná odchylka, která se vztahuje k inherentní úrovni variability.

Odhad průměrné variability σ uvnitř k podskupin se určí:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k s_j^2}, \quad (3.2)$$

je-li výběrová směrodatná odchylka s_j j -té podskupiny:

$$s_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2}, \quad (3.3)$$

kde

X_{ji} je i -tá hodnota v j -té podskupině a je-li pro j -tou podskupinu výběrový průměr

$$\bar{X}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij}. \quad (3.4)$$

2. metoda výpočtu s využitím kvantilů:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{Q_{0,99865} - Q_{0,00135}}, \quad (3.5)$$

kde

Q je kvantil pro zvolenou hladinu významnosti; u Shewhartových regulačních diagramů $\alpha = 0,27\%$. (horní kvantil je $Q_{1-\alpha/2}$, dolní kvantil $Q_{\alpha/2}$).

Je-li $C_p < 1$ výrobní proces není způsobilý,
 $C_p = 1$ výrobní proces je blízky způsobilosti,
 $C_p = 1,33$ je minimální přípustná hodnota pro způsobilost.

b) Ukazatel způsobilosti C_{pk} zohledňuje variabilitu i polohu, charakterizuje skutečnou způsobilost procesu dodržovat předepsané meze:

1. klasická metoda (pro normální rozdělení)

– je-li předepsána horní toleranční mez:

$$C_{pk} = C_{pU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (3.6)$$

– je-li předepsána dolní toleranční mez:

$$C_{pk} = C_{pL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (3.7)$$

– jsou-li předepsané obě meze:

$$C_{pk} = \min\{C_{pU}, C_{pL}\} \quad (3.8)$$

kde

μ je střední hodnota sledovaného znaku.

2. metoda výpočtu s využitím kvantilů:

– je-li předepsána horní toleranční mez:

$$C_{pk} = C_{pU} = \frac{USL - Q_{0,50}}{Q_{0,99865} - Q_{0,50}} \quad (3.9)$$

– je-li předepsána dolní toleranční mez:

$$C_{pk} = C_{pL} = \frac{Q_{0,50} - LSL}{Q_{0,50} - Q_{0,00135}} \quad (3.10)$$

– jsou-li předepsané obě meze:

$$C_{pk} = \min\{C_{pU}, C_{pL}\} \quad (3.11)$$

kde

$Q_{0,50}$ je medián příslušného rozdělení, pro normální rozdělení je zároveň střední hodnotou.

Závěrem je třeba zdůraznit, že ukazatele způsobilosti jsou náhodnými veličinami, které mají své rozdělení hustoty pravděpodobnosti. Konkrétní vypočtená hodnota se v daném procesu vyskytuje s určitou pravděpodobností při určité hladině významnosti.

Tab. 5: Hodnota indexů C_p a C_{pk} v závislosti na tolerančních mezích, (centrováný proces)

Toleranční meze	Hodnota indexů C_p, C_{pk}	Pravděpodobnost vzniku neshodných jednotek pro rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$ [ppm]
$\mu \pm \sigma$	$\geq 0,333$	317 400
$\mu \pm 2\sigma$	$\geq 0,667$	45 600
$\mu \pm 3\sigma$	$\geq 1,0$	2 700
$\mu \pm 4\sigma$	$\geq 1,3$	63,4
$\mu \pm 5\sigma$	$\geq 1,67$	0,6
$\mu \pm 6\sigma$	$\geq 2,0$	0,002

Proces se považuje za způsobilý, pokud je hodnota ukazatele větší než 1. Některé firmy mají vyšší požadavky na způsobilost procesu (μ je uprostřed tolerančního pole).

c) Ukazatel způsobilosti C_{pm} (Taguchiho ukazatel způsobilosti)

V tomto případě není variabilita charakterizována rozptylem kolem střední hodnoty ale kolem optimální hodnoty (která musí ležet ve středu tolerančního rozpětí):

$$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}} \quad (3.12)$$

kde

T je cílová hodnota.

Pokud cílová hodnota neleží ve středu tolerančního pole nebo je specifikována jen 1 toleranční mez, zavádí se index

$$C_{pm}^* = \min\left\{\frac{T - LSL}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}, \frac{USL - T}{3\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}\right\} \quad (3.13)$$

Porovnání indexů C_{pm} a C_p umožní zjistit, nakolik je dosažený výsledek ovlivněn variabilitou hodnot a nakolik posunem střední hodnoty μ vůči cílové hodnotě T .

3.2 Ukazatelé výkonnosti P_p a P_{pk}

Zatímco ukazatel způsobilosti vychází z inherentní (krátkodobé) variability, ukazatel výkonnosti představuje dlouhodobou způsobilost procesu:

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{TOT}} \quad (3.14)$$

kde

σ_{TOT} je směrodatná odchylka, která se vztahuje k celkové variabilitě procesu.

1. klasická metoda (pro normální rozdělení)

Stejně jako u ukazatele způsobilosti i zde můžeme definovat ukazatele výkonnosti vztahující se k parametru polohy, a to v případě jednostranných mezí:

– je-li předepsána horní toleranční mez:

$$P_{pk} = P_{pU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma_{TOT}} \quad (3.15)$$

– je-li předepsána dolní toleranční mez:

$$P_{pk} = P_{pL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma_{TOT}} \quad (3.16)$$

– jsou-li předepsané obě meze:

$$P_{pk} = \min\{P_{pU}, P_{pL}\} \quad (3.17)$$

Zavedení těchto ukazatelů vychází opět z předpokladu normálního rozdělení.

2. metoda výpočtu s využitím kvantilů:

Pokud naměřená data nevykazují normální rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$, pak definujeme i ukazatel výkonnosti pomocí kvantilů, ve jmenovateli bude kvantilové rozpětí s hustotou pravděpodobnosti [4], $0,99870 - 0,00135 \cong 0,99735$, které pokrývá hodnoty znaku kvality stejně jako 6σ u normálního rozdělení:

$$P_p = \frac{USL - LSL}{Q(0,99865) - Q(0,00135)} \quad (3.18)$$

Pokud bude ukazatel výkonnosti P_{pk} definován pomocí mediánu a kvantilů, může mít použití jak pro normální rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$, tak pro hodnocení dat, která normální rozdělení nevykazují:

$$P_{pk} = \min\left(\frac{USL - Me}{Q(0,9987) - Me}, \frac{Me - LSL}{Me - Q(0,00135)}\right) \quad (3.19)$$

3.3 Porovnání ukazatelů způsobilosti C_p a výkonnosti P_p

Protože obecně platí

$$\sigma \leq \sigma_{TOT} \quad (3.20)$$

a jen u procesu statisticky zvládnutého platí $\sigma = \sigma_{TOT}$, pak také za předpokladu normality platí

$$C_p \geq P_p \quad (3.21)$$

4. Závěr

Regulační diagramy patří mezi základní nástroje řízení kvality a jsou vhodným preventivním nástrojem, neboť umožňují provést zásah do výrobního procesu dříve, než dojde k výrobě zmetků nebo vznikne jiná nestabilita sledovaného procesu. Lze je také využít v různých analytických zkušebních laboratořích.

Ukazatele způsobilosti a výkonnosti se řadí mezi vyšší nástroje řízení kvality. Pro jejich určení musíme stanovit z daného procesu pomoci naměřených dat odhady směrodatných odchylek σ popř. σ_{TOT} .

V případě, kdy získaná naměřená data nemají normální rozdělení, pak původní předpoklady ztrácejí smysl, protože při stanovení ukazatele způsobilosti či výkonnosti při normálním rozdělení hustoty pravděpodobnosti se využívala směrodatná odchylka σ popř. σ_{TOT} . Pokud neplatí pravděpodobnostní rozdělení normální, je nutné provést výpočty pomocí kvantilů.



Další možností je vhodná transformace dat původních na data s normálním rozdělením. [2] [3] [4]

Literatura:

- [1] Tůmová O., Pirich D.: *Nástroje řízení jakosti a základy technické diagnostiky*. Vydavatelství ZČU Plzeň 2003.
- [2] Tůmová O., Veverková M., Burget D.: *Měřicí procesy a analýza dat při sledování interaktivních dějů v elektrotechnice*, dílčí výzkumná zpráva MSM 4977751310, ZČU Plzeň 2008.
- [3] Tůmová O. *Metrologie a hodnocení procesů*, BEN Praha 2009
- [4] Michálek J.: *Vyhodnocování způsobilosti a výkonnosti výrobního procesu*. CQR, Praha 2009
- [5] ISO/FDIS 7870-1 Regulační diagramy – všeobecné pokyny a úvod (v revizi)
- [6] ČSN ISO 7870-2 Shewhartovy regulační diagramy (dříve ČSN ISO 8258)
- [7] ČSN ISO 7870-3 Přejímací regulační diagramy (dříve ČSN ISO 7966)
- [8] ČSN ISO 7870-4 Regulační diagram CUSUM
- [9] ČSN ISO 7870-6 Regulační diagramy EWMA
- [10] ČSN ISO 7873 Regulační diagramy pro aritmetický průměr s výstražnými mezemi
- [11] ČSN 010266 Zvláštní typy statistické regulace – metoda kumulovaných součtů
- [12] ČSN ISO 11462-1 Směrnice pro uplatňování statistické regulace procesu (SPC) – Prvky SPC
- [13] ČSN ISO 11462-2 Směrnice pro uplatňování statistické regulace procesu (SPC) – Katalog nástrojů a postupů
- [14] ČSN ISO 21747 Statistické metody - Ukazatele výkonnosti a způsobilosti procesu pro měřitelné znaky kvality (platná 4/2010 – 6/2016)

ZVEME NA CEN/CENELEC SEMINÁŘ



CO: Evropský seminář pod názvem

„Standards na podporu hodnotového řetězce průmyslových dat“

KDY: 28. září 2021 od 14:00 do 17:15 SEČ

KDE: online (nutná registrace - viz link níže)

Průmyslová data jsou klíčem k úspěchu harmonizovaného jednotného trhu a evropské konkurenceschopnosti na globálním trhu. Jedná se o vysoce strategickou oblast, která poskytne základ další vlně digitalizace v Evropě.

Aby mohly evropské zúčastněné strany plně těžit z přidané hodnoty průmyslových dat, potřebují společný přístup, který umožní důvěru, kvalitu a interoperabilitu v celém řetězci hodnot dat.

Během workshopu zúčastněných stran pořádaného evropskými normalizačními organizacemi - CEN, CENELEC a ETSI – budou identifikovány meziodvětvové mezery a příležitosti pro vývoj nových standardů průmyslových dat v globálním kontextu.

ODKAZ: [Standards in support of the industrial data value chain - CEN-CENELEC \(cencenelec.eu\)](https://www.cencenelec.eu/standards-in-support-of-the-industrial-data-value-chain)

METROLOGIE TLAKU VE ZDRAVOTNICTVÍ

Ing. Václav Sedlák^{1,2},
Mgr. Dominik Pražák Ph.D.^{1,2},
Mgr. Ing. Jan Rybář, Ph.D.²

¹ Český metrologický institut

² Slovenská technická univerzita, Strojnícka fakulta

Abstrakt

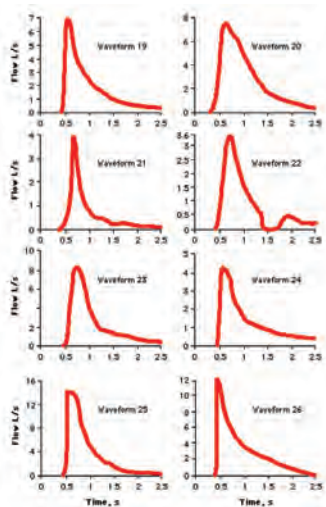
Článek reaguje na aktuální téma metrologie pro zdravotnictví a informuje o situaci ohledně významné medicínální veličiny – tlaku. Tato veličina je významná především v případě krevního a nitroočního tlaku. Jejich monitoring totiž umožňuje předcházet závažným zdravotním komplikacím, které však ve své počáteční fázi nemají jiné objektivní příznaky než právě zvýšený tlak. Diagnostický a preventivní význam těchto měřidel je v České republice zdůrazněn tím, že jsou zařazena mezi stanovená měřidla s povinným pravidelným ověřováním. Článek se zabývá problematikou metrologické návaznosti těchto měřidel a nejnovějšími výsledky evropské spolupráce v této oblasti.

Úvod

Tématem letošního Světového dne metrologie byla metrologie a měření pro zdraví. Stejně jako další obory lidské činnosti, ani zdravotnictví se neobejde bez přesných měření. Ta jsou nezbytná pro přesné a včasné diagnózy, zajištění bezpečnosti zdraví pacientů, lékařů, zdravotníků i celého pohledu na zdravotnictví.

Metrologické zajištění měřidel ve zdravotnictví mnohdy vyžaduje odborné znalosti z oblasti medicíny, biofyziky i metrologie. Zajištění metrologické návaznosti v medicínální metrologii má také svá specifika, kdy většinu měřidel ve zdravotnictví lze zařadit do jedné ze tří kategorií podle zajištění jejich metrologické návaznosti, viz **Tabulka 1**.

První kategorie měřidel má stejné schéma návaznosti jako „klasická“ metrologie, tzn. nepřerušenu posloupnost



Obr. 1: Příklad křivek ATS pro spirometry

od primárního etalonu přes referenční etalon(y) až k pracovnímu měřidlu. Typickými zástupci této kategorie jsou např. lékařské teploměry, rtuťové manometry, ergometry apod., tedy měřidla, jejichž metrologická návaznost nevyžaduje téměř žádné specifické metody a postupy.

Druhou kategorií představují měřidla, kde roli primárního etalonu přebírá databáze fyziologických signálů, kde např. American Thoracic Society vytvořila databázi křivek pro spirometry měřící špičkový výdech, **obr. 1**. Metrologickou návaznost pracovních měřidel zde zajišťují zkušební zařízení a generátory, které reprodukuje definovaný fyziologický signál, se kterým se porovnává indikace zkoušeného měřidla.

Třetí kategorií jsou měřidla, kde roli primárního etalonu zastává malý vzorek (v některých případech jen jedno měřidlo), u kterého bylo provedeno klinické hodnocení. Klinické hodnocení porovnává indikaci nového, zkoušeného měřidla s referenčním, pokud možno přesnějším, měřením prováděným na stejném testovaném subjektu. Základním předpokladem klinického hodnocení je, že hodnota měřené veličiny u testovaného subjektu je po dobu zkoušky konstantní a obě zkoušená měřidla by tedy měla mít v ideálním případě shodnou indikaci. Na klinicky hodnoceném měřidle se následně provede měření transfer standardem, kdy se zaznamená a uloží pro další použití indikace klinicky hodnoceného měřidla. Tato indikace následně slouží jako referenční hodnota při zkouškách pracovních měřidel za použití transfer standardů stejného typu. Typickým příkladem měřidel této kategorie jsou bezkontaktní oční tonometry, některá měřidla krevního tlaku, audiometry, atd.

Tab. 1: Kategorie medicínálních měřidel z podle zajištění návaznosti

Návaznost v klasické metrologii	Návaznost v medicínální metrologii		
	Kategorie I	Kategorie II	Kategorie III
Primární etalony	Primární etalony	Databáze fyziologických signálů	Klinicky hodnocené měřidlo
Referenční etalony	Referenční etalony	Zkušební zařízení, generátor (s klasickou návazností)	Transfer standard (s klasickou návazností)
Pracovní etalony	Pracovní etalony		
Měřidlo	Měřidlo	Měřidlo	Měřidlo

Měřidla tlaku ve zdravotnictví

Z pohledu pacienta jsou nejpoužívanějšími měřidly tlaku ve zdravotnictví tzv. oční a krevní tonometry - měřidla nitroočního a krevního tlaku. Tato měřidla hrají nezastupitelnou roli ve screeningu a diagnostice závažných onemocnění a s ohledem na jejich význam pro ochranu veřejného zdraví jsou v České republice zařazena mezi **stanovená měřidla**. Vyhláška MPO č. 345/2002 Sb. v platném znění, kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu, stanovuje u mechanických očních tonometrů

ověřovací periodu 1 rok, u digitálních očních tonometrů a měřidel tlaku krve pak shodně 2 roky.

Běžně se hodnota krevního a nitroočního tlaku neuvádí v (kilo)pascálech (kPa) jakožto jednotkách SI, ale v milimetrech rtuťového sloupce (mmHg). Pro přepočítání mezi uvedenými jednotkami platí vztah $1 \text{ mmHg} = 0,133322 \text{ kPa}$ [1].

Měření a měřidla nitroočního tlaku

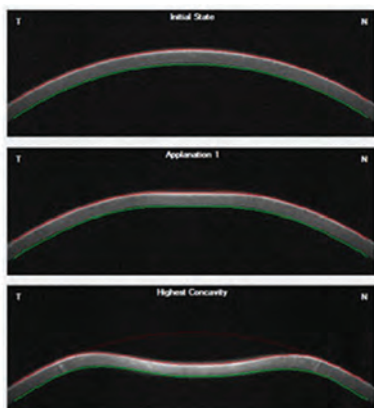
Měřidla nitroočního tlaku, tzv. **tonometry**, patří k základním přístrojům pro screening a diagnostiku glaukomu. Hodnoty normálního nitroočního tlaku se pohybují u dětí při narození v intervalu (6–8) mmHg, od 12 let věku v intervalu (10–15) mmHg a u dospělých se nitrooční tlak pohybuje v intervalu (11–21) mmHg.

Tonometry lze rozdělit na kontaktní a bezkontaktní. Informace o kontaktních tonometrech a jejich ověřování lze najít v [2]. V oftalmologii se nejčastěji používají bezkontaktní typy tonometrů (**obr. 2**), které si v posledních letech získaly velkou popularitu.



Obr. 2: Bezkontaktní oční tonometry v oční ambulanci

Bezkontaktní oční tonometry pracují na principu, kdy se tlakem vzduchu, který proti oku tonometr krátce vyfoukne, oploští oční rohovka. Výhodou oploštění přístroj stanoví výši nitroočního tlaku. Měření je pro pacienta bezbolestné a relativně rychlé. Značnou výhodou je, že nedochází k přímému kontaktu přístroje s okem, což je pro pacienta mnohem komfortnější než v případě kontaktních metod měření. Z personálního hlediska je také výhodou, že bezkontaktní tonometr nemusí obsluhovat lékař.



Obr. 3: Průběh aplanace rohovky při měření nitroočního tlaku

Metrologická návaznost bezkontaktních očních tonometrů je v současnosti prováděna více způsoby, a to pomocí silikonových očí, tzv. flapperu a elektronického oka. Detailní informace o elektronických bezkontaktních tonometrech a jejich ověřování uvádí [3].

Problematické návaznosti v oboru metrologie je poslední dobou věnována zvýšená pozornost. Národní metrologické instituty ČR, Polska, Německa, Rakouska, Slovenska a Turecka společně se Slovenskou technickou univerzitou a Univerzitou Palackého realizovaly v letech 2017 až 2020 **projekt inTENSE v rámci programu EMPIR**, viz [4, 5, 6].

Tento projekt sledoval tři hlavní cíle: vybudování centra pro návaznost měřidel nitroočního tlaku v Českém metrologickém institutu, společný rozvoj výzkumných kapacit v oboru měření nitroočního tlaku a souvisejících veličin (např. centrální tloušťka rohovky) a vypracování konceptu specializace (Smart Specialisation Concept) pro metrologii nitroočního tlaku ve střední Evropě, jakož i strategie pro další rozvoj tohoto konceptu a jeho rozšíření do dalších oblastí medicínské metrologie.

Pokud jde o první cíl, v rámci projektu bylo předáno špičkové know-how expertů z německého národního institutu PTB vybraným odborníkům z ČMI, přičemž výsledky prověřil zahraniční audit. Tím byl vytvořen základ pro vznik školicího střediska pro návaznost v měření nitroočního tlaku na ČMI (oblastní inspektorát Most), které bude sloužit nejen partnerům projektu, ale i ostatním národním metrologickým institutům.

Úkoly v rámci druhého cíle byly v režii univerzitních partnerů projektu. Významných výsledků bylo dosaženo ve srovnání výsledků měření nitroočního tlaku získaných různými metodami a v problematice faktorů ovlivňujících měření nitroočního tlaku, přičemž případný zájemce najde odkazy na tyto výsledky v on-line publikaci [6]. Hlavně je však třeba zdůraznit sestavení prototypu univerzálního transfer-etalonu nitroočního tlaku [7, 8, 9].

Nejprve byl vytvořen virtuální model oční rohovky. Model využívá ideální materiálové vlastnosti oční rohovky a aplikuje různorodé scénáře z pohledu geometrie vytvořené rohovky. Pro vyhodnocení účinků na měření nitroočního tlaku byla provedena analýza parametrů vzduchového proudu, který vyvine bezkontaktní oční tonometr při měření. Z virtuálního modelu bylo vytvořeno několik prototypů umělého oka s možností přesného a sledovatelného generování tlaku uvnitř oka. Modely umělých očí, které mají být kalibračním etalonem, jsou nyní podrobovány experimentálním měřením na více typech bezkontaktních očních tonometrů, viz **obr. 4**.



Obr. 4: Etalonové zařízení s modelovým okem (vlevo) a měření na bezkontaktním tonometru

V rámci třetího cíle zúčastněné národní metrologické instituty vypracovaly Smart Specialisation Concept, který jim umožní i do budoucna koordinovat své aktivity v tomto oboru. Zároveň vypracovaly i agendu pro rozšíření tohoto konceptu jak na celou Evropu, tak i o další fyziologické veličiny. Prvními plody této strategie jsou další projekty v programu EMPIR, a to adOSSIG, viz níže, a CEFTON. Projekt CEFTON, který bude zahájen letos v září a jehož partnery jsou kromě ČMI i národní metrologické instituty Bosny a Hercegoviny, Moldavska a Severní Makedonie, má za cíl zprostředkovat výsledky projektu inTENSE především mým sdružení CEFTA.

Měření a měřidla krevního tlaku

Měření krevního tlaku je běžně prováděným a (kromě některých speciálních měření), rutinním úkonem. Optimální hodnoty krevního tlaku jsou dlouhodobě předmětem diskuzí [10], nicméně je prokázáno, že vysoký krevní tlak neprospívá zdraví. Optimální hodnoty krevního tlaku dle [11] jsou 120 mmHg u systolického krevního tlaku a 80 mmHg u diastolického krevního tlaku, s akceptovatelnými hodnotami u zdravého člověka do 140 mmHg u systolického krevního tlaku a 90 mmHg u diastolického krevního tlaku.

Vysoký krevní tlak (hypertenze) je považován za jednu z civilizačních chorob a v Evropě jím v některých oblastech trpí více než 40 % dospělého obyvatelstva. Nemoci oběhové soustavy jsou nejčastější příčinou úmrtí v rozvinutých zemích. Hypertenze je přímou příčinou 13 % přirozených úmrtí a více než 20 % všech infarktů. Za největší problém hypertenze a zvýšeného krevního tlaku se považuje dlouhodobě bezpříznakový průběh onemocnění [12], [13]. Přesná měření krevního tlaku jsou tedy nezbytnou součástí prevence a léčby hypertenze a souvisejících onemocnění.

Měřidla krevního tlaku se běžně dělí na mechanická (manuální) a elektromechanická (s automatizovaným měřením). Další možné dělení je podle používané metody měření. Ačkoliv existují i další metody měření krevního tlaku, např. přímé invazivní měření, Peňázova metoda aj., dále se budeme věnovat dvěma nejrozšířenějším metodám měření krevního tlaku: auskultační a oscilometrické metodě.

Auskultační metoda

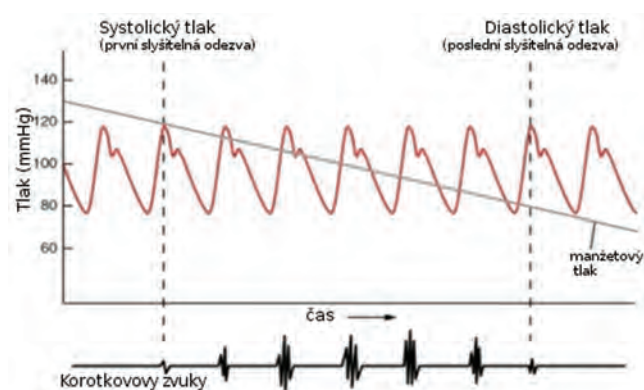
Auskultační metoda je neinvazivní metoda, která hodnoty krevního tlaku stanovuje pomocí blokování průtoku krve natlakovanou manžetou na základě pozorování zvuků typických pro různé režimy proudění.

Základem auskultační metody je zablokování proudění krve v končetině pomocí natlakované manžety. Při následném snižování tlaku v manžetě dojde při dosažení systolického tlaku k částečnému zpřůchodnění tepen a krev začne turbulentně proudit částečně zaškrčenou tepnou. To lze detekovat pomocí fonendoskopu. Při dalším snižování tlaku v manžetě dochází k postupnému uvolňování zaškrčené tepny a současně lze pozorovat změnu spektra zvuků ve fonendoskopu. V okamžiku dosažení diastolického tlaku manžeta tepnu nezaškrcuje a obnoví se přirozené laminární proudění krve; typické zvuky detekovatelné fonendoskopem zmizí,

viz **obr. 5**. Systolický a diastolický tlak jsou tedy stanoveny na základě hodnoty tlaku v manžetě v okamžicích ohraničených Korotkovovými zvuky (podle N. S. Korotkova, který metodu objevil v roce 1905).

Auskultační metoda se běžně používá jako referenční metoda při klinických zkouškách nových měřidel krevního tlaku. Za předpokladu, že se osoba provádějící měření touto metodou vyvaruje hrubých chyb (chyba paralaxy při odečtu, preference hodnot při odečtu atd.), lze auskultační metodu považovat za tzv. „zlatý standard“, nejpřesnější metodu měření krevního tlaku dosažitelnou v běžné klinické praxi.

Nevýhodou auskultační metody je především nutnost měření zaškolenou osobou. Tato metoda tedy není vhodná pro domácí a dlouhodobé měření krevního tlaku.



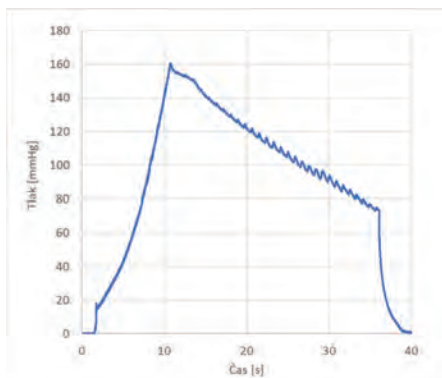
Obr. 5: Princip auskultačního měření krevního tlaku

Oscilometrická metoda

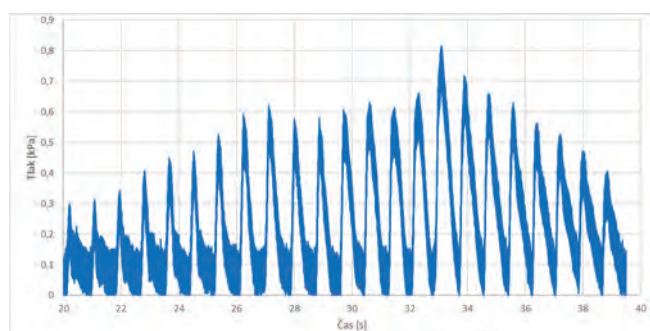
Oscilometrická metoda je neinvazivní nepřímá metoda, která odhaduje hodnoty systolického a diastolického krevního tlaku pomocí detekce tlakových oscilací v manžetě.

Stejně jako auskultační metoda, i oscilometrická metoda používá manžetu pro měření krevního tlaku. I v tomto případě dojde natlakováním manžety k zablokování proudění krve danou končetinou. Při postupném snižování tlaku v manžetě lze detekovat tlakové pulzy nízké amplitudy o frekvenci srdečního tepu. Pulzy se v manžetě většinou objeví ještě před dosažením systolického tlaku. Amplituda pulzů postupně roste se snižujícím se tlakem v manžetě. Maximální amplituda těchto oscilací bývá obvykle do 3 mmHg, výjimečně až do cca 10 mmHg. Po dosažení maxima amplituda oscilací klesá, nicméně ani při dosažení úrovně diastolického tlaku zcela nevymizí. Typický průběh manžetového tlaku se superponovanými oscilacemi je uveden na **obr. 6**. Oscilometrický signál lze z tohoto záznamu extrahovat odečtením průběhu manžetového tlaku v čase, viz **obr. 7**.

Na rozdíl od auskultační metody, kde hodnoty krevního tlaku ohraničují Korotkovovy zvuky, oscilometrická metoda nic takového nemá a vyžaduje matematické zpracování signálu. Pro výpočet, resp. odhad hodnot systolického a diastolického krevního tlaku z oscilometrického signálu je nutné použít vhodný algoritmus [14]. Základem většiny algoritmů je detekce maximální amplitudy oscilometrického signálu a následně použití proprietárních koeficientů pro výpočet



Obr. 6: Manžetový tlak s oscilometrickými signály



Obr. 7: Oscilometrické signály

hodnot krevního tlaku. Software měřidla s tímto algoritmem je tedy klíčovým prvkem oscilometrické metody. V současné době většina měřidel krevního tlaku na trhu používá oscilometrickou metodu.

Použití oscilometrické metody však přináší problémy u pacientů, kteří nemají standardní průběh srdečního cyklu, např. kvůli arytmií a jiným onemocněním. Detekované pulzy mají v takovém případě nestandardní průběh, a následné zpracování signálu tak může být zatíženo značnými chybami.

Metrologická návaznost měřidel krevního tlaku je převážně realizována statickým tlakem. To je plně dostačující u měřidel pro auskultační měření. U oscilometrických měřidel je situace odlišná. Takto zajištěná metrologická návaznost pouze zkontroluje korektní fungování snímače tlaku. Zcela chybí kontrola zbytku měřidla, především pak správnosti výpočtu indikovaného krevního tlaku při běžném použití. To je úzce provázáno se softwarem, který vyhodnocuje průběh oscilometrického signálu a na základě toho počítá hodnoty krevního tlaku.

Dlouhodobě diskutovaným řešením by mohly být simulátory krevního tlaku [15], které umožňují testování měřidel v dynamickém režimu blízkém reálnému používání. Limitujícími faktory pro použití simulátorů oscilometrického signálu pro metrologickou návaznost měřidel krevního tlaku jsou omezená metrologická návaznost a charakterizace a z toho plynoucí statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými simulátory [16].

S cílem překonat tyto problémy vznikly dva evropské výzkumné projekty: v programu *Competitive and Sustainable Growth* to byl v letech 2002-2005 projekt *Simulator*

for NIBP [17] a v programu EMPIR se jedná o aktuálně (od roku 2019) probíhající projekt *adOSSIG* koordinovaný Českým metrologickým institutem [18]. Cílem tohoto projektu, ideově navazujícího na projekt *inTENSE*, je rozvoj metrologie krevního tlaku. Dílčími cíli jsou vývoj a testování nového pokročilého etalonu oscilometrických signálů, zajištění metrologické návaznosti pro tento simulátor a implementace konceptu specializace (*Smart Specialisation Concept*) pro metrologii krevního tlaku ve střední Evropě.

Závěr

Tento článek přináší základní přehled dvou dílčích oblastí metrologie tlaku, a to měřidel nitroočního tlaku a měřidel krevního tlaku. Ačkoli tyto oblasti byly delší dobu stranou zájmu, jejich správné metrologické zajištění přímo ovlivňuje veřejné zdraví. Český metrologický institut se v této oblasti v posledních letech aktivně zapojuje do výzkumných projektů *inTENSE*, *adOSSIG* a *CEFTON* v rámci programu EMPIR. Cílem je jak vývoj nových etalonů, tak spolupráce a transfer znalostí.

Poděkování

Děkujeme Českému metrologickému institutu a Strojnické fakultě Slovenské technické univerzity v Bratislavě za podporu při psaní tohoto článku, poděkování patří také projektu *KEGA 023STU-4/2020* s názvem „Zavádění problematiky metrologického zabezpečení zdravotnické techniky do výuky studentů“.

Projekt *18RPT02 adOSSIG* je financován z programu EMPIR spolufinancovaného členskými státy a z programu Evropské unie pro výzkum a inovace *Horizon 2020*.

LITERATURA

- [1] Dominik PRAŽÁK, Václav SEDLÁK, Ekrem SINIR, František PLUHÁČEK. Changing the status of mmHg. *Accreditation and Quality Assurance*. 2020, 25(1), 81-82. ISSN 0949-1775. Dostupné z: [doi:10.1007/s00769-019-01414-7](https://doi.org/10.1007/s00769-019-01414-7)
- [2] Kateřina DRBÁLKOVÁ, Vítězslav SUCHÝ. Tonometrie - část 1 – Mechanické a elektronické kontaktní tonometry. *Metrologie*. 2019, (4), 28-31. ISSN 1210-3543.
- [3] Kateřina DRBÁLKOVÁ, Vítězslav SUCHÝ. Tonometrie - část 2 – Elektronické bezkontaktní tonometry a rebound tonometrie. *Metrologie*. 2020, (1), 31-35. ISSN 1210-3543.
- [4] *Developing research capabilities for traceable intraocular pressure measurements*. [online]. 2021 EURAMET e.V. [cit. 2021-06-14]. Dostupné z: www.euramet.org/research-innovation/search-research-projects/details/?tx_eurametctcp_project%5bproject%5d=1493
- [5] *New intraocular pressure measurement facility at the Czech Metrology Institute*. [online]. 2021 EURAMET e.V. [cit. 2021-06-14]. Dostupné z: www.euramet.org/publications-media-centre/news/news/new-intraocular-pressure-measurement-facility-at-the-czech-metrology-institutes

- [6] D. PRAZAK, R. ZIOLKOWSKI, D. ROSU, M. SCHIEBL, J. RYBAR, P. PAVLASEK, E. SINIR, F. PLUHACEK. Metrology for intraocular pressure measurements. *ACTA IMEKO*. 2020, 9(5), 353-356. ISSN 2221-870X. Dostupné z: [doi:10.21014/acta_imeko.v9i5.999](https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v9i5.999).
- [7] Peter PAVLÁSEK, Jan RYBÁŘ, Miroslav CHYTIL, Stanislav ĎURIŠ, Jozef PALEŇČÁR, Branislav HUČKO. European project on developing research capabilities for traceable intraocular pressure measurements. *Zdravotníctvo a sociálna práca*. Roč. 14, č. 1 (2019), s. 30-36. ISSN 1336-9326.
- [8] Peter PAVLÁSEK, Miroslav CHYTIL, Jan RYBÁŘ, Jakub PALEŇČÁR, Stanislav ĎURIŠ. Development of New Calibration Standard for Noncontact Tonometers. *2018 11th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI)*. IEEE, 2018, 1-4. ISBN 978-1-5386-7604-2. Dostupné z: [doi:10.1109/CISP-BMEI.2018.8633148](https://doi.org/10.1109/CISP-BMEI.2018.8633148)
- [9] Jan RYBÁŘ. *Vývoj metod pro zabezpečení návaznosti měřidel nitroočního tlaku*. [Dizertační práce]. Slovenská technická univerzita v Bratislavě. Strojnická fakulta. Ústav automatizace, měření a aplikované informatiky. Vedoucí závěrečné práce: prof. Ing. Stanislav Ďuriš, PhD. Bratislava: Sjf STU BA, 2019. 117s.
- [10] Matej ČIERNIK. Musíme mať normálny krvný tlak? A aký je vlastne normálny? *OSEL.CZ: Objective Source E- Learning* [online]. 2018, [cit. 2021-6-15]. ISSN 1214-6307. Dostupné z: www.osel.cz/9821-musime-mat-normalny-krvny-tlak-a-aky-je-vlastne-normalny.html
- [11] WIDIMSKÝ, J., FILIPOVSKÝ, J., CERAL, J., CÍFKOVÁ, R., LINHART, A., MONHART, V., ROŠLOVÁ, H., SEIDLEROVÁ MLÍKOVÁ, J., SOUČEK, M., ŠPINAR, J., TESAŘ, V., VÍTOVEC, J., ZELINKA, T. Diagnostické a léčebné postupy u arteriální hypertenze - verze 2017. Doporučení České společnosti pro hypertenzi. *Vnitřní Lékař*, 2018, vol. 64, iss. 7-8, p. 771-796.
- [12] WHO, *A global brief on hypertension: silent killer, global public health crisis: World Health Day 2013*, 2013
- [13] HANDLER, Joel. The Importance of Accurate Blood Pressure Measurement. *The Permanente Journal*. 2009, 13(3), 51-54. ISSN 15525767. Dostupné z: [doi:10.7812/TPP/09-054](https://doi.org/10.7812/TPP/09-054)
- [14] Mohamad FOROUZANFAR, Hilmi R. DAJANI, Voicu Z. GROZA, Miodrag BOLIC, Sreeraman RAJAN, Izmail BATKIN. Oscillometric Blood Pressure Estimation: Past, Present, and Future. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*. 2015, 8, 44-63. ISSN 1937-3333. Dostupné z: [doi:10.1109/RBME.2015.2434215](https://doi.org/10.1109/RBME.2015.2434215)
- [15] John N. AMOORE, Emilie VACHER, Ian C. MURRAY, Stephan MIEKE, Susan T. KING, Fiona E. SMITH, Alan MURRAY. Can a simulator that regenerates physiological waveforms evaluate oscillometric non-invasive blood pressure devices?. *Blood Pressure Monitoring*. 2006, 11(2), 63-67. DOI: [10.1097/01.mbp.0000200482.72410.e2](https://doi.org/10.1097/01.mbp.0000200482.72410.e2). ISSN 1359-5237.
- [16] Jan HAVLÍK, Vratislav FABIÁN. Verification of clinical accuracy of automated non-invasive sphygmomanometers: is it appropriate to use blood pressure simulators? *Lékař a technika - Clinician and Technology*. 2020, 50(1), 5-11. ISSN 2336-5552. Dostupné z: [doi:10.14311/CTJ.2020.1.01](https://doi.org/10.14311/CTJ.2020.1.01)
- [17] W. RIEDEL, S. MIEKE, R. SEEMANN, B. ITTERRMANN. A simulator for oscillometric blood pressure signals to test automated noninvasive sphygmomanometers. *Review of Scientific Instruments*. 2011, 82(2). DOI: [10.1063/1.3549803](https://doi.org/10.1063/1.3549803). ISSN 0034-6748.
- [18] *Developing an infrastructure for improved and harmonised metrological checks of blood-pressure measurements in Europe*. [online]. 2021 EURAMET e.V. [cit. 2021-06-14]. Dostupné z: <https://www.euramet.org/research-innovation/search-research-projects/details/project/developing-an-infrastructure-for-improved-and-harmonised-metrological-checks-of-blood-pressure-measu/>



INFORMACE ČESKÉHO KALIBRAČNÍHO SDRUŽENÍ

ČKS uskuteční ve druhém pololetí roku 2021 akce, které byly zrušeny v r. 2020:

60. Odbornou konferenci ČKS spojenou se schůzí spolku	5. a 6. října 2021	Součástí schůze spolku budou také volby <u>nového výboru ČKS</u> . Konference bude zaměřena na aktuální problémy kalibračních laboratoří a Autorizovaných metrologických středisek.
Seminář „Vodoměry a měřidla tepla“	8. a 9. listopadu 2021	Seminář bude zaměřen na aktuální legislativu v metrologii, autorizaci AMS. Hlavním tématem bude novelizovaný předpis MP 002, který je ve smyslu ČSN EN ISO/IEC 17025:2018.
 <p>Místo konání akcí je v hotelu Skalský dvůr v Lísku u Bystřice nad Pernštejnem</p>		



České kalibrační sdružení, z.s.
Slovinská 47, 612 00 Brno
Člen sdružení EUROCAL
e-mail: sekretar@cks-brno.cz
www.cks-brno.cz

Programy a přihlášky budou uveřejněny na webových stránkách ČKS:

www.cks-brno.cz

Na těchto stránkách naleznete rovněž informace o podmínkách členství v Českém kalibračním sdružení, kontakt je e-mail:

sekretar@cks-brno.cz

METROLOGICKÁ NÁVAZNOST VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ V CHEMII

doc. Ing. David Milde, Ph.D.

Katedra analytické chemie, Přírodovědecká fakulta,
Univerzita Palackého v Olomouci

Úvod

Pro dosažení porovnatelnosti výsledků nezávisle na čase a místě je nutno navázat všechna individuální měření k nějaké společné, stabilní referenci nebo standardu měření. Výsledky pak mohou být porovnávány prostřednictvím jejich vztahu k této referenci. Tato strategie propojování výsledků k jedné referenci se nazývá „metrologická návaznost“. Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM) [1] definuje metrologickou návaznost jako „vlastnost výsledku měření, pomocí níž může být výsledek vztážen ke stanovené referenci přes dokumentovaný nepřerušovaný řetězec kalibrací, z nichž každá se podílí svým příspěvkem na stanovené nejistotě měření.“ Pro tuto definici může být „stanovenou referencí“ definice měřicí jednotky prostřednictvím její praktické realizace nebo postup měření zahrnující měřicí jednotku. Pro fyzikální měření představuje praktickou realizaci stanovené reference systém mezinárodních a národních etalonů, pro chemii především certifikované referenční materiály (CRM). Mnoho fyzikálních veličin, které se používají při rutinních chemických měřeních, je podloženo rozsáhlými a účinnými návaznými kalibračními systémy, což činí prokazování návaznosti těchto veličin relativně snadnou záležitostí. Hodnoty chemických veličin jsou však typicky odvozeny ze široké škály referenčních materiálů a dat s různou historií a původem, a jsou-li vybrány jako reference, vyžadují zvláštní péči a posouzení. Pro chemická měření je také typické, že vyžadují jak potvrzení identity (kvalitativní analýzu), tak i měření množství (kvantitativní analýzu). Dalším problémem je měření složek v komplexních maticích, které mohou ovlivnit zdánlivou hodnotu měřené složky. Dále je pro mnohé potřebné chemické výsledky běžné, že jsou založeny na měření experimentálně definovaných složek, například „extrahovatelné kadmium“ (někdy se používá termín „měřená veličina definovaná postupem“). V takových případech není vždy lehké identifikovat potřebnou návaznost nebo prokázat, že je uváděná návaznost vyhovující [2].

Z historie

Na základě dostupných údajů lze uvést, že první systematickou činnost v oblasti návaznosti v chemii započalo evropské sdružení Eurachem založené v roce 1989. Jeho původním cílem, jak to vyjadřovalo Memorandum o porozumění podepsané jeho členy, bylo napomoci vytvoření systému mezinárodní návaznosti pro chemické analýzy. V té době byla mezinárodní aktivita v této oblasti, stejně tak jako v širší definovatelné klasifikaci metrologie v chemii, zanedbatelná, pojem metrologie v chemii se takřka nepoužíval. „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ (GUM) ještě nevyšel, avšak bylo možno sledovat pokusy o vyhodnocování

nejistoty na vyšších úrovních fyzikálních měření podle publikovaného doporučení pracovní skupiny „Vyjádření nejistoty měření“ Mezinárodního úřadu pro váhy a míry z roku 1980. Tento způsob vyhodnocování a uvádění nejistoty se rozšiřoval do ostatních oblastí fyzikálních měření, ale ze strany analytických chemiků mu byla věnována jen malá nebo žádná pozornost. Mezinárodní výbor pro míry a váhy se tak ve skutečnosti začal zabývat problematikou chemických měření až ke konci osmdesátých let 20. století. Je zvláštní, že vyhodnocování nejistoty se stalo prvním krokem uplatňování zásad metrologie v chemii, spíše než zajištění návaznosti výsledků měření, zvláště proto, že to druhé bylo prvotním cílem Eurachem. První reálný koncept, jak zajišťovat návaznost výsledků chemických měření, vznikl po mnohých diskusích a publikaci mnoha článků jako Pokyn Eurachem/CITAC „Traceability in chemical measurement“ až v roce 2003 [3]. Pokyn byl v roce 2019 revidován a jeho český překlad vydal v roce 2020 Eurachem-ČR jako Kvalimetrii 24 [2]. Řešením se ukázal být velmi podobný přístup jako u fyzikálních měření, a to zajištění návaznosti všech měřených hodnot veličin vyskytujících se v rovnici pro výpočet hodnoty měřené veličiny a navíc návaznost všech hodnot veličin specifikovaných v postupu měření, které se přímo neobjevují v rovnici měření [4].

Dalším stěžejním dokumentem věnujícím se problematice metrologické návaznosti detailně po teoretické i praktické stránce je Technická zpráva IUPAC (Mezinárodní unie pro čistou a užitou chemii) z roku 2011 [5]. Zpráva si klade za cíl formulovat doporučení týkající se metrologické návaznosti výsledku měření v chemii. Odborné komunitě přináší konzistentní pohled na význam a roli metrologické návaznosti a vysvětluje základní pojmy. Nerozlišuje mezi návazností výsledků měření získaných v laboratořích „vysoké metrologie“ a v „běžných laboratořích“. Uvádí popis kalibračních hierarchií potřebných k dosažení metrologické návaznosti za různých okolností. Dále představuje vývojové diagramy obecných hierarchií kalibrace a přináší řadu řešených příkladů.

Princip zajištění metrologické návaznosti dle Pokynu Eurachem/CITAC

Zmíněný dokument [2] identifikuje následující klíčové prvky zajištění návaznosti:

1. Specifikování měřené veličiny, předmětu měření a cílové nejistoty měření. Měřenou veličinou není analyt. Uvedme několik příkladů: hmotnostní koncentrace olova v odpadní vodě je měřenou veličinou a olovo analytem, nebo při stanovení enzymové aktivity je amyláza analytem a aktivita amylázy měřenou veličinou.
2. Výběr vhodné metody k odhadu hodnoty, tedy měřicího postupu, spolu s výpočtem – rovnicí – a podmínkami měření. Předpokládáme, že přijatelný odhad hodnoty měřené veličiny y lze získat z rovnice

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m)_{x_{m+1}, x_{m+2}, \dots, x_n}$$

kde y se vypočítá z x_1, \dots, x_m vztahem f , který platí za podmínek měření specifikovaných pomocí $x_{m+1} \dots x_n$.

Prokázání pomocí validace, že výpočet a podmínky měření zahrnují všechny „ovlivňující veličiny“ (uvedené jako x_1 až x_n v rovnici výše), které mohou významně ovlivnit výsledek nebo hodnotu přiřazenou standardu.

Pak lze y považovat za návaznou k x_1, \dots, x_n .

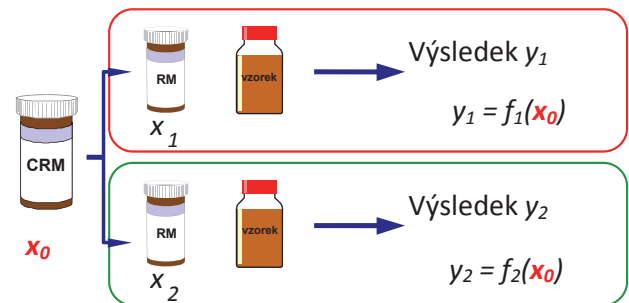
3. Určení relativního významu každé ovlivňující veličiny.
4. Výběr a použití vhodných standardů měření (viz další text).
5. Odhad nejistoty měření.

V praxi stačí, aby hodnoty x_1 až x_n byly pod dostatečnou kontrolou a aby poskytovaly požadovanou nejistotu y . Pro kritické veličiny to vyžaduje kalibraci s návazností k dalším referenčním hodnotám. Pro méně kritické veličiny může být i méně náročná kontrola vyhovující.

Kalibrace je pro vytvoření návaznosti základním procesem. Může se totiž aplikovat (a obvykle aplikuje) na části měřicího systému. Zejména analytické přístroje jsou obvykle kalibrovány odděleně a pak se použijí jako součást většího měřicího systému. Přístroje, jako jsou váhy a teploměry, se nekalibrují tak často, protože jsou relativně stabilní ve střednědobém intervalu. Přístroje jako plynový chromatograf pro stanovení např. polyaromatických uhlovodíků nebo optický emisní spektrometr s ionizací v indukčně vázaném plazmatu využívány ke stanovení většiny kovů např. v potravinách, mají tendenci ke změnám mnohem větší a kalibrují se obvykle častěji, často ve stejné sérii se sadou vzorků. Za tímto účelem se jako kalibrační látky běžně používají čisté chemikálie nebo CRM ve formě směsi plynů či standardních roztoků připravených gravimetricky. Ty je v řadě případů možné zakoupit, přičemž je jejich používání výhodné a obvykle i efektivní z hlediska nákladů. Protože hodnoty mají návaznost k národním nebo mezinárodním standardům, a jsou proto velmi spolehlivé, doporučuje se jejich použití tam, kde je to možné. Informace o návaznosti hodnoty referenčního materiálu je třeba požadovat na jeho dodavateli. V některých případech, například u rentgenových fluorescenčních analýz slitin, je možné použít ke kalibraci vhodný matricový CRM. V takových případech má výsledek nepochybně návaznost k hodnotě referenčního materiálu. Je však třeba vzít na vědomí, že se matricové CRM obecně nedoporučují pro kalibraci. Brání tomu většinou cena, v praxi vzácný dostatečný soulad matrice a pro kalibrační účely často příliš velké nejistoty přidružené k hodnotám přírodních certifikovaných matricových materiálů.

Při výběru dodavatele referenčních materiálů je třeba brát ohled na shodu přípravy referenčních materiálů s normami kvality, jako je zejména ČSN EN ISO 17034 [6]. Shoda by se měla přednostně prokazovat posouzením třetí stranou; záznamy o výrobci a materiálu. Například byl-li RM podroben mezilaboratornímu porovnávání, překontrolován různými metodami, nebo existují-li ve více laboratorích zkušenosti s jeho používáním v intervalu několika let; a v neposlední řadě dostupnost certifikátu a platnost údajů o certifikaci a o nejistotě včetně shody klíčových postupů s Pokynem ISO 35 [7].

Ilustrujme úvodní myšlenku porovnatelnosti výsledků nezávisle na čase a místě situací, kdy máme dvě laboratoře, 1 a 2, provádějící měření vzorků zhruba stejného typu (obr. 1). Každá kalibruje své zařízení standardem měření (RM) o známé nominální koncentraci (x_1 a x_2). Počítají své výsledky y_1 a y_2 z kalibrační rovnice dosazením hodnot x . V obou případech je výsledek y funkcí referenční hodnoty x (obvykle jednoduchý násobek, předpokládáme-li lineární odezvu). Referenční hodnota x přitom určuje jednotky měření.



Obr. 1: Ilustrace porovnání výsledků dvou laboratoří

Důležitou otázkou je vztah mezi y_1 a y_2 . Ačkoliv jsou hodnoty y_1 a y_2 (obvykle) různé, je rozdíl skutečný, nebo je jen důsledkem odlišných referencí? Pokud jsou oba standardy měření kalibrovány nějakou společnou referencí (na obr. 1 CRM), stane se porovnání smysluplným. Nyní jsou oba výsledky odvozeny ze stejné hodnoty (x_0). Oba mají stejné jednotky měření a přímé porovnání hodnot y_1 a y_2 je nyní nejen možné, ale má také smysl. Analogicky by ovšem mohlo být x_0 odvozeno z ještě vyšší reference, aby bylo možné porovnávat v globálním měřítku.

Ilustrační příklad

Praktický příklad názorně ilustrující komplexní problematiku zajištění metrologické návaznosti výsledku stanovení rtuti ve vzorku tuňáka popisuje Metodický list Eurachem-ČR 13 [8]. Stanovení rtuti ve vzorku (jako hmotnostní zlomek) poskytlo výsledek $4,03 \pm 0,11 \text{ mg kg}^{-1}$. Výsledek se uvádí jako celková Hg v sušině a nejistota měření je uvedena na 95% konfidenční úrovni ($k = 2$). Sušina byla stanovena zahříváním jiného podílu zhomogenizovaného vzorku na $105 \text{ }^\circ\text{C}$ po dobu 12 h. Takováto úprava podílu vzorku určeného ke stanovení Hg by vedla ke ztrátě těkavých forem rtuti. Rtuť byla stanovována na atomovém absorpčním spektrometru technikou studených par po mikrovlnném rozkladu. Vzorky byly navoňovány na vahách s kalibračním listem, který deklaruje vazbu udávané hmotnosti k jednotce SI (kg). Mineralizát byl naředěn do odměrné baňky, u níž výrobce uvádí návaznost objemu baňky k národnímu etalonu. Kalibrační křivka byla připravena ředěním certifikovaného referenčního materiálu – standardu rtuti s certifikátem udávajícím hodnotu veličiny $0,998 \pm 0,005 \text{ mg kg}^{-1}$ ($k = 2$) s návazností k čisté rtuti od akreditovaného výrobce CRM. Dále byl při validaci postupu stanovení Hg použit vhodný

matricový CRM s celkovou koncentrací rtuti rovnou $1,97 \pm 0,04 \text{ mg kg}^{-1}$ ($k = 2$). Validace sloužila k ověření výkonnosti metody. K prokázání návaznosti výsledku stanovení rtuti potřebuje laboratoř následující dokumenty:

1. Certifikát roztoku CRM Hg s koncentrací či hmotnostním zlomkem, uvedenou nejistotou a způsobem zabezpečení metrologické návaznosti certifikovaného údaje.
2. Kalibrační list vah k prokázání hmotnosti vzorku.
3. Kalibrační list od výrobce nebo dodavatele odměrných baněk a pipet k prokázání odměřených objemů CRM i vzorků.
4. Ověření teploty v sušárně k prokázání spolehlivého stanovení sušiny vzorku.
5. Protokol o správné funkci mikrovlnného mineralizátoru a atomového absorpčního spektrometru podle specifikace výrobce.
6. Běžné hodinky nebo stopky ke sledování doby sušení.

Dokument (certifikát) v položce 1 vyžaduje zvláštní pozornost pro zajištění kvality a návaznosti standardů připravených pro kalibraci atomového absorpčního spektrometru. Návaznost u položek 2, 3 a 6 se snadno dosáhne s postačující nejistotou za použití komerčního vybavení. Položky 4 a 5 vyžadují od laboratoře přiměřenou pozornost. Pro validaci postupu měření je použití matricového CRM zásadní, ale není součástí návaznosti, protože se tento CRM nepoužívá pro kalibraci. Pokud by se takový CRM použil pro korekci výtěžnosti výsledků, mělo by to tvořit součást návaznosti.

Metrologická návaznost u kvalitativní analýzy

Metrologická definice návaznosti se váže k výsledkům získaným kvantitativní analýzou, dá se však aplikovat i do oblasti kvalitativní analýzy s použitím referenčních materiálů a kalibračních instrumentů, poskytující kvantitativní signál. Pro identifikační postupy používáme chemicky čisté látky (individua), které považujeme z metrologického hlediska za standardy. Tyto standardy lze charakterizovat vhodnou instrumentální technikou (např. hmotnostní spektrometrií). Naměřené charakteristiky slouží potom při analýze neznámých vzorků. Většinou se toto děje automaticky pomocí knihoven, které jsou součástí instrumentálního softwaru. Vhodné příznaky v knihovně a pravděpodobnost správné identifikace jsou hlavními „spojkami“ v řetězci návaznosti. Důležitou částí řetězce návaznosti jsou také matricové CRM s charakterizovanou limitní rozhodovací hodnotou. Dokument NIST [9] publikovaný v roce 2021 uvádí na stejném principu příklad zajištění metrologické návaznosti v kvalitativní analýze – přiřazení hodnoty jmenovité vlastnosti, že nukleovou bázi v určité poloze řetězce DNA je adenin. Zahrnuje srovnání se standardem adeninu, který je relevantní pro identifikaci nukleové báze, pomocí kvantitativních vlastností, například hmotnostního spektra.

V rámci Eurachem je problematika zabezpečení kvality výsledků u kvalitativní analýzy velmi diskutovaným tématem. Doposud však nebyl odsouhlasen žádný Pokyn věnující se této důležité oblasti.

Závěr

Metrologická návaznost je klíčovým prvkem moderních systémů zabezpečování kvality a vzájemného uznávání výsledků i u chemických zkoušek. Návaznost je nástrojem standardizace měření, s cílem minimalizace vychýlení měření a srovnatelnosti výsledků stejného druhu měření v různých laboratořích bez závislosti na čase a místě analýzy. Návaznost je vlastnost výsledku měření a vztahuje se k uvedeným referencím na udané úrovni nejistoty. Validace měřicího postupu je často nejdůležitějším krokem k zajištění návaznosti. Kalibrační standardy jsou důležité u fyzikálních měření, u chemických nejsou dostatečným prostředkem zajištění návaznosti vzhledem ke komplexnímu charakteru měřicího procesu zahrnujícího i zpracování vzorků. Při akreditacích laboratoří se vyžaduje, aby laboratoř stanovovala a udržovala metrologickou návaznost výsledků svých měření pomocí dokumentovaného nepřerušovaného řetězce kalibrací, z nichž každá přispívá k nejistotě měření a vztahuje je k příslušné referenci.

Poděkování:

Autor děkuje MŠMT za finanční podporu v rámci grantového projektu LTV 20008.

Literatura:

1. TNI 01 0115. Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM). ÚNMZ Praha 2009.
2. Milde D. (ed.): Kvalimetrie 24: Návaznost chemických měření. Metodický návod pro pořádání malých mezilaboratorních porovnávaní. Eurachem-ČR, Ústí nad Labem 2019. (ISBN 978-80-86322-12-4) Dostupné z <http://www.eurachem.cz/publikace.php>.
3. Williams A., de Bièvre P., Accred. Qual. Assur. 19, 55–57 (2014). DOI: 10.1007/s00769-014-1040-0.
4. Ellison S. L. R., King B., Rösslein M., Salit M., Williams A. (eds.): Traceability in chemical measurement. A guide to achieving comparable results in chemical measurement. Eurachem/CITAC Guide 2003.
5. de Bièvre P., Dybkaer R., Fajgelj A., Hibbert D. B.: Pure Appl. Chem. 83, 1873-1935 (2011). DOI: 10.1351/PAC-REP-07-09-39.
6. ČSN EN ISO 17034. Všeobecné požadavky na kompetenci výrobců referenčních materiálů. ÚNMZ Praha 2017.
7. TNI 015241. Referenční materiály – Návod pro charakterizaci a posouzení homogenity a stability (Pokyn ISO 35). ÚNMZ Praha 2019.
8. Metodický list 13 – Eurachem Leaflet: Metrologická návaznost analytických výsledků (český překlad) Eurachem-ČR 2014. Dostupné z <http://www.eurachem.cz/metodicke-listy.php>.
9. Possolo A., Bruce S. S., Watters R. L., Jr.: Metrological Traceability Frequently Asked Questions and NIST Policy. NIST Technical Note 2156, 2021.

PRINCIPY KALIBRACE V OBORU ZÁKLADNÍCH ELEKTRICKÝCH VELIČIN

Ing. Martin Valenta

Český institut pro akreditaci, o.p.s.



Informace k výsledku řešení úkolu programu rozvoje metrologie (PRM) v roce 2020, který se věnoval novému prvku v přílohách osvědčení o akreditaci, principům kalibrace. Jako první obor byly vybrány základní elektrické veličiny, které

posloužily k teoretickému rozboru, jak uvádět principy kalibrace, který má posloužit i jako základ pro obdobné úkoly v jiných oborech. Dále byly zpracovány příklady vhodných formulací pro kalibrace základních elektrických veličin a revizních přístrojů.

1. Úvod

V tomto časopisu vyšly v předchozích letech články, kterými byla veřejnost seznámena s výsledky úkolů programu rozvoje metrologie (PRM), jejichž řešitelem byl Český institut pro akreditaci. Předchozí úkoly měly společný cíl, sjednotit náhled širší odborné veřejnosti na výpočet nejistot, uváděných v tabulce CMC v příloze osvědčení o akreditaci (POA).

Úkol pro rok 2020 s označením VII/5/20 přinesl změnu tématu, protože podle praktických zkušeností s nově koncipovanou POA se zvýšil význam principu kalibrace jako relativně nové informace, která spolu s identifikací postupu dává úplnou informaci o konkrétní činnosti laboratoře.

Spolupráce na řešení tohoto úkolu se ujal Ing. Miroslav Netopil z kalibrační laboratoře Institutu pro testování a certifikaci, a.s.

2. Výchozí stav, požadavky a zadání

Princip kalibrace je v přílohách osvědčení o akreditaci novým prvkem. Jeho doplnění vychází z požadavku normy ČSN EN ISO/IEC 17011:2018 v kapitole 7, kde konkrétně v kap. 7.8.3 pod písmenem c) je uveden požadavek na uvedení metody nebo postupu kalibrace nebo měření a typu přístroje nebo materiálu, který je kalibrován nebo měřen (obdobně i v článku 4.1 dokumentu ILAC-P14:09/2020 Politika ILAC pro nejistoty při kalibraci). Z identifikace dokumentu, kterou je obvykle interní označení dokumentu, nelze poznat ani princip, natož metodu či postup kalibrace.

Smyslem práce je dosáhnout takového sjednocení názvů nejběžněji používaných postupů, metod nebo principů při kalibraci, aby z informace v daném sloupci POA bylo možné vycházet při porovnávání vhodnosti kalibrační laboratoře z hlediska požadavků zákazníka. V POA jsou princip, metoda a postup považovány za synonyma, v předkládaném úkolu jsou pojmy rozvedeny a definovány.

Hlavním cílem úkolu bylo zpracování přehledu metod kalibrace pro základní elektrické veličiny, tedy napětí, proud a odpor stejnosměrný i střídavý, kapacitu a indukčnost. Dále se úkol věnuje základnímu rozdělení etalonů a předmětů kalibrace z hlediska jejich funkce a vztahu v měřicí sestavě jako jádru pro popis metody kalibrace.

Jádro metody kalibrace s doplňujícími podrobnostmi tvoří výsledný popis tak, aby konečná formulace byla jednoznačná, stručná, dostatečně výstižná a maximálně jednotná. Při zpracovávání podkladů se také potvrdil předpoklad, že dodržování pravidel pro sestavení POA, uvedených v návodu, je nezbytné. Jejich nerespektování znamená obvykle komplikace při další práci s jednotlivými POA. Bohužel nejsou výjimkou takové POA, z nichž pouze na základě uvedených informací nelze spolehlivě rozhodnout, které údaje spolu souvisí a které nikoli, ani co přesně znamenají.

3. Metoda kalibrace a obecný vztah mezi kalibrovaným zařízením a etalonem při kalibraci

První částí řešení je rešerše většiny dosud vydaných POA pro obor elektrických veličin, přehled použitých názvů principů a informace o jejich použití. Ne vždy bylo dodrženo pravidlo, že princip kalibrace má spolu se sloupcem „Kalibrovaná veličina/předmět kalibrace“ dávat jednoznačnou informaci, co je předmětem kalibrace, co je etalonem (etalony) a jak (na jakém principu) se kalibrace uskutečňuje.

Definice VIM 3 říká, že „Kalibrace je činnost, která za specifikovaných podmínek v prvním kroku stanoví vztah mezi hodnotami veličiny s nejistotami měření poskytnutými etalony a odpovídajícími indikacemi s přidruženými nejistotami měření, a ve druhém kroku použije tyto informace ke stanovení vztahu pro získání výsledku měření z indikace“. Zjednodušeně lze říci, že kalibrace je porovnání hodnoty etalonu s hodnotou kalibrovaného předmětu, tedy porovnání s etalonem. Z hlediska definice je tudíž každá kalibrace porovnáním s etalonem. Taková formulace však nepřináší žádnou přidanou hodnotu, nenese novou informaci, a nelze ji tedy považovat za vhodnou.

3.1 Základní uspořádání při kalibraci elektrických veličin

Z hlediska fyzikálně-technické podstaty existují pouze dvě skupiny etalonů i kalibrovaných předmětů: generátory veličiny (zdroje) a senzory veličiny (měřidla). V úvahu tedy přicházejí pouze dvě situace, tj. porovnávání stejných skupin nebo porovnávání skupin opačných. Ke každé z obou situací proto stačí přiřadit jednoznačně a jednotně tentýž pojem – „klíčové“ slovo a dostáváme „fundament“ principu kalibrace:

Charakter etalonu	Přenosové médium (není etalonem)	Předmět kalibrace	Fundament (klíčové slovo)
měřidlo	stabilní zdroj	měřidlo	porovnání
zdroj	stabilní lineární měřidlo	zdroj	
zdroj	–	měřidlo	generování
měřidlo	–	zdroj	měření

Je vhodné podotknout, že na situaci nahlížíme od etalonu, tedy vlastně kalibrační laboratoře a jejího postupu, směrem k předmětu kalibrace. V některých případech uspořádání, kdy etalon = zdroj a předmět kalibrace = měřidlo, je však zaužívané nebo vhodné použít pohled ze strany kalibrovaného předmětu, tedy ze strany zákazníka.

3.2. Uvádění principu kalibrace v POA

Aby princip kalibrace splnil účel a přinesl přidanou informační hodnotu, musí jeho formulace:

1. dát jednoznačnou a jasnou informaci o podstatě kalibrace,
2. být stručná,
3. být výstižná.

První přílohy POA, vytvořené podle nového vzoru, měly princip kalibrace velmi často popsán již zmíněným nejjednodušším způsobem s prakticky nulovou informační hodnotou. Dále jsou v řešení úkolu prezentovány příklady vhodných a méně vhodných formulací a přehledů principů kalibrace, jak jsou v jednotlivých POA uvedeny pro obor elektrických veličin. Další kapitola shrnuje informace o struktuře POA zahraničních akreditačních orgánů a posuzuje, nakolik je z nich zřejmý princip kalibrace.

3.3. Tvorba formulace principu kalibrace pro základní typy kalibrací

Principy kalibrace uváděné v POA mají být porovnatelné, proto je žádoucí, aby stejné metody kalibrace byly ve sloupci „Princip kalibrace“ formulovány stejně. Toho lze dosáhnout postupným rozložením formulace principu kalibrace na elementární kroky. Těmi jsou stanovení fundamentu kalibrace (viz tabulka výše), přiřazení vhodné míry podrobnosti o etalonu, a pokud je to účelné, připojení přívlastku (přímé, nepřímé, substituční, poměrové, ...). Následně je potřeba vhodně využít variabilitu češtiny a formulaci doladit tak, aby byla správná, co nejkratší a snadno pochopitelná.

Dále jsou v kapitole uvedeny konkrétní vzorové situace a podrobně popsána logika, jak dospět ke vhodné formulaci principu kalibrace. Následuje řada příkladů reálných obsahů již vydaných POA s komentáři, jak transformovat aktuální, ne zcela uspokojivý stav podle výše uvedených pravidel a postupů.

3.4. Tvorba formulace principu kalibrace pro kalibrace s více etalony

V dalších kapitolách jsou k dispozici praktické příklady, jak stanovit princip kalibrací, které používají více etalonů. Příklady jsou uvedeny jak pro 2 etalony, tak pro situace, kde je použito etalonů více. Etalony v takových případech obvykle neindikují přímo hodnotu měřenou kalibrovaným měřidlem, jde tedy o metody nepřímé. V jiných případech se jedná o měření, vázané na nějaké médium, v němž měření probíhá. Přesný popis principu v takových případech bývá delší a jeho utvoření je náročnější. Zde se projevuje výhoda použití termínu „porovnání“ jednotně pro porovnání pouze měřidla s měřidlem nebo zdroje se zdrojem. Z předmětu kalibrace by mělo být jednoznačně patrné, zda je etalonem zdroj nebo měřidlo; obdobně to platí pro kalibrovaný předmět.

Následující kapitoly se věnují správným formulacím principu kalibrace pro kalibrace kapacity, indukčnosti a nf impedance a pro kalibrace revizních přístrojů. V případě kalibrací revizních přístrojů je třeba se věnovat zařazení revizních měřidel do struktury POA. Je možný dvojitý přístup: buď se revizní přístroje zařadí pod každou z veličin, kterou laboratoř umí měřit a má ji ve svém rozsahu akreditace, nebo, což je doporučeno, se revizní přístroje zařadí jako samostatná část, v níž jsou uvedeny jednotlivé funkce a jejich rozsahy. Dále jsou podrobně rozvedeny jednotlivé funkce revizních přístrojů a k nim přiřazeny vhodné formulace principů kalibrace.

4. Závěr (výstupy z úkolu)

Poslední kapitola ve zkratce znovu popisuje způsob, jak se dopracovat k principu kalibrace, a podává základní informace o doporučených principech pro uvádění v POA. Před závěrem je v hlavních bodech uvedeno, na co je třeba myslet při zpracovávání přílohy osvědčení o akreditaci, aby celá práce, věnovaná správnému stanovení principů kalibrace, byla ve výsledku podpořena i správnými formulacemi.

Teoretický pohled na postupy kalibrace, jejich metody a principy, doplněný o přehled nejdůležitějších metod kalibrace, poskytuje solidní základ pro výběr a formulaci vhodných textů do POA jednotlivých kalibračních laboratoří. Vlastní přehled principů kalibrace je pak zpracován do samostatné přílohy zprávy.

Zde uvedený náznak řešení a nástin doporučení, která jsou obsahem závěrečné zprávy úkolu, je pouze stručnou informací. K detailnímu seznámení s podrobnostmi byl určen seminář, který ČIA uspořádal pro odbornou veřejnost. S úplným obsahem zprávy z úkolu se lze seznámit také na webových stránkách ČIA (sekce Kalibrační laboratoře) a v dohledné době i na webu ÚNMZ:

<https://www.unmz.cz/metrologie/rozvoj-v-metrologii/program-rozvoje-metrologie/vybrane-vystupy-z-programu-rozvoje-metrologie/posuzovani-akreditovanych-kalibracnich-laboratori/>

Autor článku děkuje všem, kteří se podíleli na úkolu, především oponentům a pracovníkům ÚNMZ, za všechny podněty při řešení úkolu.

JEDNOTKA METR - VÝVOJ DEFINICE

Ing. František Jelínek, CSc.

Potřeba jednotky pro měření délky je stará jako měření vůbec, ale původ *metru*, jak ho známe dnes, můžeme najít teprve v době evropské renesance, na počátku tzv. vědecké revoluce. Za její počátek se pokládá dílo Mikuláše Koperníka *De revolutionibus orbium coelestium*, 1543 a návrh heliocentrické soustavy. Trvalo ovšem ještě 200 let, než katolická církev oficiálně povolila Koperníkovy myšlenky šířit, nicméně vývoj poznání založeného na experimentu a tudíž na měření se nezastavil a bylo třeba stále větší přesnosti měření a jednotek, které by byly založeny na nezávislých přírodních jevech, nikoliv na prototypch odvozovaných různými způsoby od rozměrů lidského těla. Místo složitých způsobů dělení jednotky na díly se také prosazoval desetinný systém. Sledovat vývoj je velmi zajímavé, protože se děje v podmínkách souběžného rozvoje mnoha oborů, zejména astronomie, matematiky a fyziky, geodézie, v podmínkách střetávání názorů a teorií a současně vývoje experimentální techniky. Za povšimnutí stojí i mozaika jmen a děl vzdělanců, kteří vývoj posouvali stále kupředu.

Jednotka založená na době kyvu kyvadla

V letech 1660 až 1668 bylo navrženo použít jako jednotku (v desítkové soustavě) délku tzv. sekundového kyvadla (John Wilkins – přírodovědec, matematik, Christopher Wren – astronom, architekt, oba mezi zakladateli *Royal Society for the Improvement of Natural Knowledge*).

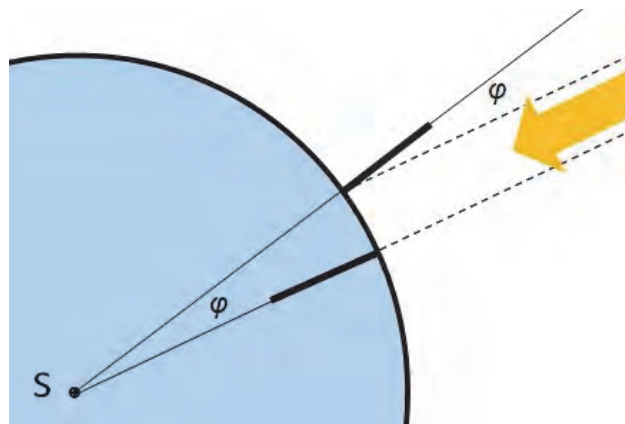
V roce 1675 se snad poprvé setkáváme s pojmenováním *metr* – stále ještě na základě sekundového kyvadla. Ital Tito Livio Burattini ve svém díle *Misura Universale* použil výraz „metro cattolico“ („obecná míra“), odvozené z řeckého μέτρον καθολικόν (métron katholikón).

Brzy se ukázalo, že jednotka odvozená od periody kyvu kyvadla není vhodná, protože její realizace závisí na velikosti gravitačního zrychlení v místě prováděného měření. Nehledě na obtíže přiblížení k ideálnímu kyvadlu a měření doby kyvu.

Jednotka odvozená z rozměrů Země

O určení rozměrů Země se snažili velmi sofistikovanými postupy již antičtí učenci. Příkladem může být postup popsáný v [1]. Traduje se, že řecký učenec Eratosthenés určil délku obvodu Země (Řekové té doby už předpokládali, že Země má tvar koule) z měření pozice Slunce ve stejném okamžiku na dvou místech, ležících na stejném poledníku a ve známé vzdálenosti od sebe. Využil toho, že věděl o místě (dnešní Asuán), kde právě v den letního slunovratu paprsky Slunce pronikají až na dno jisté studně a Slunce je tedy v zenitu. Měl také znalosti a přístroj nutný k měření výšky nebeských těles nad obzorem a znal vzdálenost mezi onou studní a Alexandrií, kde měření provedl. Po odečtení úhlu mezi svislicí a paprsky slunečního světla (údajně 7,2°) mohl už stanovit obvod Země v *stadiích*. Při předpokládané délce

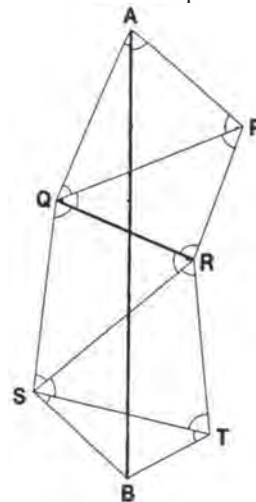
stadia (158 m nebo 164 m) by byl hledaný obvod Země 39 500 km nebo 41 000 km. Pozoruhodné.



Obr. 1: Eratosthenovo měření obvodu Země

V roce 1735 vyslala francouzská vláda na popud *Francouzské akademie věd* (založené už koncem 17. století ještě Ludvíkem XIV.) expedice, které měly proměřit délku stupňového oblouku poledníku. Jedna z nich se uskutečnila v Peru s použitím míry zhotovené podle tzv. Châteletského sáhu (odtud *Toise du Perou*). Měření byla prováděna i jinde a jinými institucemi; ukazovalo se však, že Země má zploštělý tvar a délka odpovídající oblouku stupně zeměpisné šířky není všude stejná.

Myšlenka odvození jednotky délky založené na obvodu Země se postupně prosazovala a převážila nad odvozením z délky sekundového kyvadla. Jeden z návrhů předložil Gabriel Mouton (1670). Vývoj akcelerovalo dění v souvislosti s Velkou francouzskou revolucí; otevřela mimo jiné prostor pro vědecké bádání, nesusazované omezujícími dogmaty. Vláda pověřila *Francouzskou akademii věd*, aby ustavila komisi pro stanovení stupnice všech měr. 7. října 1790 komise doporučila desítkový číselný systém a 19. března 1791 doporučila přijetí termínu „mètre“ („míra“)



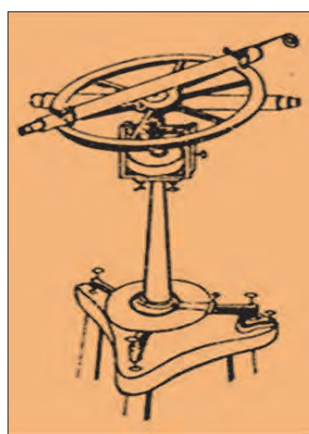
Obr. 2: Princip trigonometrického určení vzdálenosti

pro základní jednotku délky, definovanou jako desetimiliontinu vzdálenosti severního pólu a rovníku po pařížském poledníku. Roku 1793 byl návrh přijat. Zmiňované komisi předsedal Jean-Charles de Borda, byli v ní vesměs špičkoví vědci té doby - Joseph-Louis Lagrange, Pierre-Simon Laplace and Gaspard Monge. Nyní bylo nutné provést potřebná měření a také připravit přístrojové vybavení a další potřebná zařízení.

Měření se uskutečnila metodou triangulace v letech 1792 až

1799 (Delambre a Méchain), často za dramatických okolností, daných nejistou dobou, nepřátelstvím a boji mezi koalicí Rakouska, Pruska, Španělska a dalších proti revoluční Francii. Princip použité metody je znázorněn na **obr. 2**. Zeměpisná šířka koncových bodů měřeného oblouku A a B byla určena z astronomických pozorování (Dunkerque a Barcelona). Síť trojúhelníků je vytvořena na základě pozorování vzdáleného bodu ze dvou stanovišť. Znalost úhlů v trojúhelníku a známá délka jedné strany - základny (na obrázku 2. spojnice QR) je dostačující k výpočtu zbývajících stran. Delambre pracoval se základnou v délce zhruba 10 km, využil úseku přímé silnice mezi dvěma pozorovacími stanovišti. Délka základny byla změřena pomocí čtyř tyčových měř o délce 2 toise. [2]

Pro měření byly vyvíjeny i nové sofistikované přístroje, v podstatě předchůdci teodolitu. Při měřeních se používal tzv. Bordův repetiční kruh pro měření úhlů. Přístroj je vybaven dvěma dalekohledy montovanými na společné ose natáčení spolu se stupnicí pro odečítání úhlů. Při měření se dalekohledy postupně fixují ve směru na dva vzdálené body. Opakovaný postup odečtení úhlu a **záměny nastavení jednoho z dalekohledů** vede ke snížení vlivu nahodilých chyb. Přístroj je jedním z bohaté řady astronomických, navigačních a geodetických přístrojů, používaných již dříve.



Obr.3: Bordův „repetiční kruh“ (podle [3])

a **záměny nastavení jednoho z dalekohledů** vede ke snížení vlivu nahodilých chyb. Přístroj je jedním z bohaté řady astronomických, navigačních a geodetických přístrojů, používaných již dříve. (obr. 3).

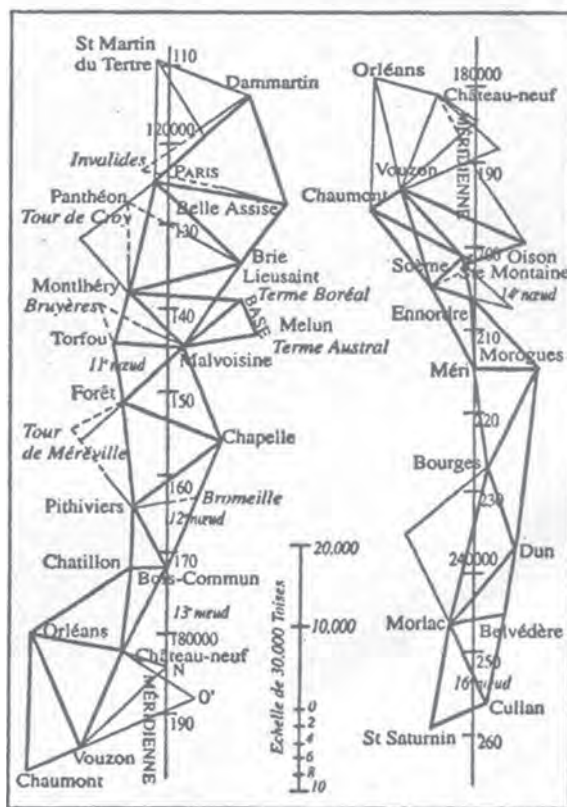
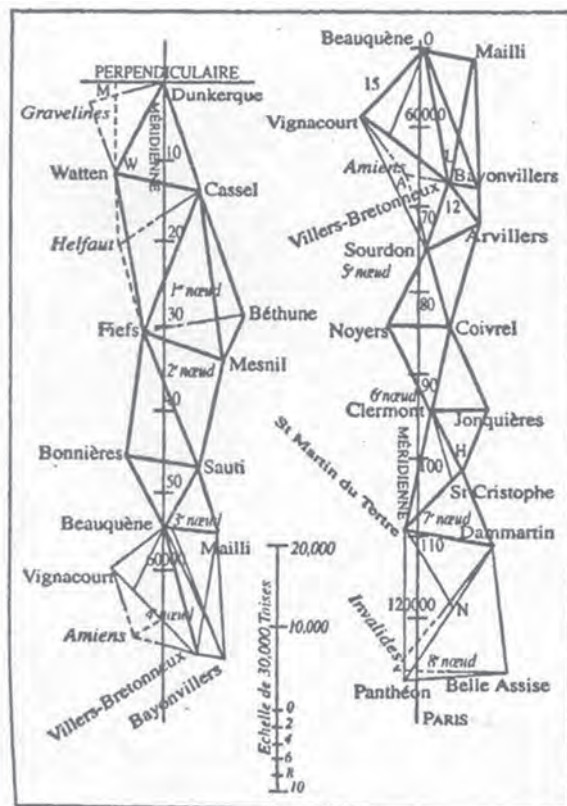
Skutečné provedení příslušných měření představovalo velká a rozsáhlý projekt. O tom svědčí schéma měřené trasy (obr. 4 , podle [3]), objem nezbytné dokumentace a následných výpočtů.

Metr jako ztělesněná míra

V roce 1793 byl z již dostupných geodetických údajů pořízen provizorní metr. V roce 1795 bylo přijato rozhodnutí o přijetí metrického systému pro Francii. Nový zákon definoval jednotky délky a hmotnosti a vyjmenoval předpony pro násobky a díly jednotky.

Pro praktické účely a trvalou reprodukci byla vyrobena řada platinových tyčí na základě provizorního metru. Když byl znám konečný výsledek, byla vybrána tyč, jejíž délka byla nejbližší poledníkové definici metru, a dne 22. června 1799 byla uložena do Státního archivu Francouzské republiky; vžil se pro ni název *mètre des Archives*. Délka kvadrantu poledníku byla stanovena na 5 130 740 toises du Perou, metr jako desetimiliontá část byl tedy 0,513 074 toise d. P., přesněji 443,295 938 čárek toise du Perou.

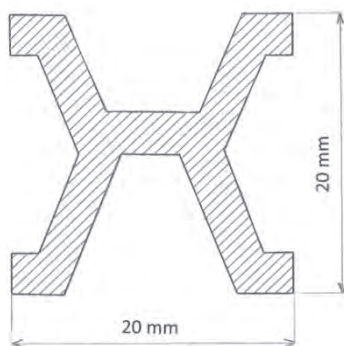
(1 toise d.P. = 6 pařížských stop = 12 palců = 864 čárek)



Obr. 4: Trasa, měřená pro určení délky části poledníku

Měření délky kvadrantu poledníku, opakovaná jinými skupinami vědců a jinými prostředky, přinášela poněkud odlišné výsledky, mimo jiné proto, že tvar geoidu není

pravidelný, dokonce ani stálý, a realizace velikosti jednotky podle poledníkové definice nebyla dostatečně přesná. Nakonec se dohodlo změnit definici jednotky délky tak, že se přešlo na definici založenou na zhotoveném prototypu. Proti původnímu záměru se tudíž dospělo opět k materiálnímu artefaktu. Původní tyč obdélníkového průřezu byla v roce 1889 nahrazena tyčí s řezem ve tvaru X, která je méně náchylná k průhybu nebo pokrivení. Přešlo se také od koncového etalonu k **čárkovému**. CGPM (1889) mezinárodní prototypy metru a kilogramu schválila a byly uloženy v sídle BIPM. Metr byl definován jako vzdálenost mezi dvěma ryskami tyče ze slitiny 90 % platiny a 10 % iridia při teplotě bodu tání ledu.



Obr. 5: Řez mezinárodním prototypem metru

Mezinárodní prototyp metru zůstal definujícím etalonem délky až do roku 1960, kdy jedenáctá CGPM přijala definici metru založenou na vlnové délce oranžovo-červené emisní čáry v elektromagnetickém spektru atomu kryptonu 86 ve vakuu. V roce 1889 CGPM schválila zhotovení opakovaných prototypů metru a jejich rozdělení mezi státy Metrické konvence. Československo dostalo svůj národní prototyp v roce 1929 (délka $1\text{ m} + 0,1\ \mu\text{m} \pm 0,1\ \mu\text{m}$). Mezinárodního porovnání se národní etalony dočkaly v letech 1921 – 1927. Zjistilo se, že národní etalony vyhovují definici s přesností do $0,2\ \mu\text{m}$. Jejich porovnání bylo sice možné s nejistotou okolo $100\ \text{nm}$ (1×10^{-7} relativně), ale například československý metr N^o.7 podle kalibrací v BIPM změnil mezi lety 1929 a 1962 hodnotu o $-500\ \text{nm}$ (-5×10^{-7} relativně). [5]

Znění definice jednotky délky upřesněné v roce 1927 bylo:

Jednotkou délky je metr, definovaný vzdáleností, při teplotě 0 °C, mezi osami dvou čárek vyznačených na tyči z platiny a iridia, uchovávané v Mezinárodním úřadu pro váhy a míry, prohlášení za prototyp metru 1. CGPM, za normálního atmosférického tlaku a podepřené na horizontální rovině dvěma symetricky umístěnými válečky o průměru nejméně 1 cm vzdálenými 571 mm od sebe.

Některá data, významná pro definici metru před rokem 1960:

- 8. května 1790 – francouzské národní shromáždění rozhodlo, že délka nového metru by měla být stejná jako délka kyvadla, jehož doba půlkyvu je rovna jedné sekundě.
- 30. března 1791 – francouzské národní shromáždění přijalo návrh Francouzské akademie věd: metr = jedna desetimiliontina vzdálenosti od rovníku k severnímu pólu.
- 1795 – zhotovena provizorní metrová tyč z mosazi.

- 10. prosince 1799 – francouzské národní shromáždění určilo, že metrová tyč (etalon), jež byla vyrobena dne 23. června 1799, bude uložena v národním archivu jako finální podoba metru.
- 28. září 1889 – první jednání o váhách a mírách (CGPM) definovalo délku jednoho metru jako vzdálenost mezi dvěma linkami na standardizované tyči ze slitiny platiny a deseti procent iridia, měřeno při teplotě tání ledu.
- 6. října 1927 – sedmé CGPM upřesnilo definici metru jako délku měřenou při teplotě 0 °C, mezi osami dvou linek vyznačených na prototypu metru ze slitiny platiny z 90 % a iridia 10 %, za normálního atmosférického tlaku a podepřené dvěma válci o průměru nejméně jeden centimetr umístěnými symetricky ve stejné výšce a vzdálenosti 571 mm jeden od druhého.

Vlnová definice metru

V tomto odstavci se již dostáváme z historie do současnosti. V časopise Metrologie najde čtenář dobrý popis například v [5], další podrobnosti lze nalézt v textu *Mise en pratique* [6], zde proto už jen stručný přehled.

Reprodukce metru, definovaného jako délka hmotné míry, dokonce i velmi stabilní, nevyhovovala rostoucím nárokům na přesnost. Proto se hledala výhodnější definice, založená na nějakém fyzikálním jevu. Vedly k ní pokroky interferometrie, které umožnily měření vlnové délky optického záření. Kvůli relativně snadné realizaci a stabilitě bylo pro definici metru zvoleno záření generované kryptonovou výbojkou, a v roce 1960 byla přijata principiálně nová definice jednotky délky:

Metr je délka, rovnající se 1 650 763,73 násobku vlnové délky záření šířícího se ve vakuu, které přísluší přechodu mezi energetickými hladinami $2p_{10}$ a $5d_3$ atomu kryptonu 86.

Další vývoj předznamenaly rychlé pokroky v laserové technice, které umožnily přesnější měření rychlosti světla. Jako výsledek experimentů byla v roce 1975 přijata konvenční hodnota rychlosti světla $299\ 792\ 458\ \text{m s}^{-1}$, a v roce 1983 byla schválena na 17. CGPM definice:

Metr je vzdálenost, kterou urazí světlo ve vakuu za dobu $1/299\ 792\ 458$ sekundy.

Tato definice svázala délku metru přes rychlost světla ve vakuu s velikostí sekundy. Z toho vyplývá, že zpřesňováním měření času se zpřesňuje také velikost jednotky metr, zatímco hodnota rychlosti světla ve vakuu je nadále neměnná konstanta.

Realizace délkové jednotky na primární úrovni je tedy spojena s měřením doby šíření světla; toho lze dosáhnout přímo s vysokou relativní přesností pro dlouhé rozsahy (např. lunární rozsah), ale v typických makroskopických rozsazích poskytuje lepší přesnost nepřímé měření, protože se jedná o velmi krátké časy, tedy optická interferometrie.

V roce 2019 byla definice metru přeformulována ve znění:

The metre, symbol m, is the SI unit of length. It is defined by taking the fixed numerical value of the speed of light in vacuum c to be 299 792 458 when expressed in the unit $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, where the second is defined in terms of the caesium frequency $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Definice je podle platného znění zákona o metrologii formulována takto:

Metr je definován stanovením pevné číselné hodnoty rychlosti světla ve vakuu c , která je rovna 299 792 458, je-li vyjádřena v jednotce m/s, kde sekunda je definována prostřednictvím $\Delta\nu_{Cs}$.

Závěrem - dosažené pokroky v definici a realizaci metru jsou zřejmé z následující tabulky:

Princip definice	Rok	Nejistota (relativně)
Desetimiliontá část kvadrantu obvodu Země podle měření, která provedli Delambre a Méchain	1798	10^{-4}
Archivní metr	1799	10^{-5}
Prototyp metru, Pt-Ir, 1. CGPM	1889	10^{-7}
1 650 763,73 vlnových délek záření (krypton 86), 11. CGPM	1960	10^{-8}
Délka dráhy, kterou urazí světlo za 1 s, rychlost světla ve vakuu 299 752 458 m s ⁻¹	1983	10^{-10}
Fixovaná hodnota rychlosti světla	2019	$< 10^{-12}$



Zdroje:

- [1] ROBINSON A. Jak se měří svět. Euromedia k.s, edice Universum. ISBN 978-80-242-2187-8
- [2] *History of the metre* [online]. [cit. 2021-6-15]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/history_of_the_metre
- [3] SLABOCH, Václav. Metrická konvence ve vědě a praxi z pohledu geodeta, VÚGTK, přednáška na Konferenci ke 130. výročí metrické konvence, Praha, 2005
- [4] NUSSBERGER, Jarolav. Metronomie délek. Česká matice technická, Praha, 1937
- [5] BALLING, Petr. Primární etalonáž délky. *Metrologie*. Praha: ÚNMZ, 2009(4).
- [6] SI Brochure – 9th edition (2019) – Appendix 2, dostupné na: <https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure>
- [7] Zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii, ve znění pozdějších předpisů

ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI – PŘINÁŠÍ NOVINKY ZE SVĚTA TECHNICKÝCH NOREM

Ing. Miroslav Čermák

Zdroj: Česká agentura pro standardizaci



Během první poloviny roku 2021 byly vydány tyto technické normy v níže uvedených oblastech:

Nedestruktivní zkoušení

ČSN EN ISO 22232-1 Nedestruktivní zkoušení – Charakterizace a ověřování ultrazvukového zkušebního zařízení – Část 1: Přístroje

Norma stanovuje metody a přijímací kritéria ve frekvenčním rozsahu 0,5 MHz až 15 MHz pro hodnocení elektrického výkonu digitálních ultrazvukových přístrojů pro impulzní provoz za použití A-zobrazení, pro ruční ultrazvukové nedestruktivní zkoušení s jednoduchými nebo dvojitými sondami. Tento dokument je rovněž použitelný pro vícekanálové přístroje. Normu lze částečně použít pro ultrazvukové přístroje v automatizovaných systémech, ale pro zajištění uspokojivého výkonu mohou být nutné další zkoušky.

ČSN EN ISO 22232-2 Nedestruktivní zkoušení – Charakterizace a ověřování ultrazvukového zkušebního zařízení – Část 2: Sondy

Norma stanovuje vlastnosti sond používaných pro nedestruktivní zkoušení ultrazvukem v následujících kategoriích se středními frekvencemi v rozsahu 0,5 MHz až 15 MHz, s fokusací nebo bez fokusace:

- a) kontaktní sondy s jedním nebo dvěma měniči generující podélné a/nebo příčné vlny;
- b) imerzní sondy s jedním měničem.

Elektrické spotřebiče pro domácnost podobné účely

V březnu 2021 vyšla **ČSN EN IEC 60335-2-43 ed. 3 Elektrické spotřebiče pro domácnost a podobné účely – Bezpečnost – Část 2-43: Zvláštní požadavky na sušiče prádla a ručníků**

Tato norma se zabývá bezpečností elektrických sušičů prádla pro sušení textilního materiálu na rámech umístěných v proudu teplého vzduchu, sušičů prádla určených pro sušení obuvi nebo rukavic a elektrických sušičů ručníků pro domácnost a podobné účely, jejichž jmenovité napětí nepřesahuje 250 V.

K vydání je rovněž připravován následný překlad normy **ČSN EN IEC 60311 ed. 3 Elektrické žehličky pro domácnost a podobné použití – Metody měření funkce**

Tato norma platí pro elektrické žehličky pro domácnost a podobné použití. Účelem této normy je stanovit a definovat hlavní funkční charakteristiky elektrických žehliček pro domácnost nebo podobné použití, které zajímají uživatele, a popsat normalizované metody pro měření těchto charakteristik. Elektrické žehličky pokryté touto normou zahrnují suché žehličky, napařovací žehličky, beztlaké napařovací žehličky s motorovým čerpadlem, postřikovací žehličky a napařovací žehličky se zvláštní nádržkou nebo ohřivačem/vyvíječem páry s objemem nepřesahujícím 5 l.

Dalším následným překladem je **ČSN EN IEC 63008 Elektrické spotřebiče pro domácnost a podobné účely – Přístupnost ovládacích prvků, dvířek, vík, zásuvek a držadel.**

Tato norma obsahuje požadavky na přístupnost pro umožnění přístupnějšího používání určitých prvků nalezených na spotřebičích pro domácnost a podobné účely staršími osobami a osobami s hendikepy. Poskytuje návod pro dosažení přístupného konstrukčního provedení pouze u ovládacích prvků (např. knoflíků, tlačítek), včetně ovládacích panelů, zobrazovacích displejů a dvířek, vík, zásuvek a držadel. Neumožňuje úplné posouzení celkové přístupnosti spotřebiče pro domácnost. Tento dokument pokrývá podpůrné a pomocné funkce, které uživatel vykonává pravidelně. Sestavení, instalace, konfigurace nebo oprava spotřebičů jsou vyloučeny. Tato norma poskytuje zkušební metody a údaje, které podporují přístupné konstrukční provedení.

Výkonové transformátory

ČSN EN IEC 60076-24 Výkonové transformátory – Část 24: Specifikace distribučních transformátorů s regulací napětí (VRDT)



Norma platí pro distribuční výkonové transformátory od 25 kVA do 3 150 kVA s nejvyšším napětím pro zařízení 36 kV nebo v sítích nízkého napětí pro zařízení do 1,1 kV výkonových zařízení s napěťovou regulací (VRDT). Uvádí termíny a definice pro VRDT, podmínky prostředí pro jejich použití, elektrické charakteristiky a obecné požadavky.

Elektromagnetická kompatibilita

Novinky v oblasti norem, týkajících se elektromagnetické kompatibility, představuje **ČSN EN IEC 61000-6-8 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 6–8: Kmenové normy – Norma pro emise pro profesionální zařízení v prostředí obchodním a lehkého průmyslu**

Tato kmenová norma EMC pro emise je použitelná pouze, jestliže není vydána odpovídající norma výrobku EMC pro emise nebo norma skupiny výrobků EMC pro emise. Tato část souboru norem pro požadavky pro emise se použije pro elektrické a elektronické zařízení určené pro použití v prostředích obchodních a lehkého průmyslu. Tento dokument se použije na zařízení, které splňuje tato omezení použití: je definováno jako profesionální zařízení, je profesionálně instalováno a udržováno, není určeno k použití v obytném prostředí.

Automatická elektrická řídicí zařízení

ČSN EN IEC 60730-2-7 ed. 3 Automatická elektrická řídicí zařízení – Část 2–7: Zvláštní požadavky na časové relé a časové spínače

Tato norma se zabývá časovými relé a časovými spínači s možností používání elektřiny, plynu, oleje, pevného paliva, sluneční tepelné energie atd., nebo jejich kombinací, použitelných pro vytápění, klimatizace a podobné aplikace.

ČSN EN IEC 60730-2-8 ed. 3 Automatická elektrická řídicí zařízení pro domácnost a podobné účely – Část 2–8: Zvláštní požadavky na elektricky ovládané vodní ventily, včetně mechanických požadavků

Tato norma se zabývá elektricky ovládanými vodními ventily pro použití v zařízeních, na zařízeních nebo ve spojení se zařízeními pro domácnost a podobné účely, včetně vytápění, klimatizace a podobných aplikací. Zařízení, ve kterém jsou tyto vodní ventily používány, může využívat elektrickou energii, plyn, naftu, pevné palivo, sluneční tepelnou energii atd., nebo jejich kombinaci.

ČSN EN IEC 60730-2-11 ed. 3 Automatická elektrická řídicí zařízení – Část 2–11: Zvláštní požadavky na regulátory výkonu

Tato norma se zabývá regulátory výkonu pro použití v zařízeních nebo ve spojení se zařízeními, včetně regulátorů výkonu pro ohřev, klimatizaci a podobné aplikace. Zařízení, ve kterém jsou tyto regulátory používány, mohou využívat elektřinu, plyn, naftu, pevné palivo, sluneční tepelnou energii atd., nebo jejich kombinaci.

MET/CAL CALIBRATION MANAGEMENT SOFTWARE: kompletní řešení pro automatizaci kalibrace

Blue Panther

MET / CAL Calibration Management Software od společnosti Fluke je kompletní řešení pro automatizaci a správu kalibrační laboratoře a je výsledkem více jak 40letého vývoje a širokého nasazení kalibračního programu MET / CAL společnosti Fluke, renomovaného výrobce kalibračních zařízení.

Dnešní kalibrační laboratoře čelí mnoha výzvám: rostoucí počet kalibrací, komplexnější kalibrované přístroje, méně techniků i rostoucí seznam standardů kvality. Především pak neustálý tlak na snižování nákladů.

Kalibrační software Fluke pomáhá těmto výzvám čelit tím, že kalibruje efektivněji a konzistentněji a spravuje pracovní zátěž kalibrační laboratoře.

Kalibrační software Fluke sestává dvou modulů, a to z programu MET / CAL®, který je de facto průmyslovým standardem v automatizaci kalibrace a programu MET / TEAM®, který slouží k řízení toku přístrojů a práce kalibrační laboratoře a pro asset management.

Sada softwaru MET / CAL a MET / TEAM dodávaná pod označením **MET/CAL Calibration Management Software** poskytuje všechny nástroje, které jsou třeba k provádění automatických, polo-automatických i ručních kalibrací na všech druzích testovacích a měřicích přístrojů a zařízení, včetně stejnosměrných, nízkofrekvenčních, radiofrekvenčních i mikrovlnných přístrojů. Umožní rychle a snadno vytvářet, upravovat, testovat a dokumentovat kalibrační postupy. Nakonfigurovat a protokolovat široký rozsah parametrů nejistoty měření včetně ověření dat pro audit a podporu další analýzy. Je možné sledovat informace o kalibrovaných přístrojích, včetně historie a stavu trasovatelnosti, uživatelů, zákazníků i umístění kalibrovaných přístrojů. Lze analyzovat a vykazovat informace o přístrojích; vytvářet přizpůsobené tištěné certifikáty a zprávy. Systém lze snadno datově napojit na další podnikové systémy. Data o majetku a kalibraci lze do systému snadno i importovat.

MET / CAL® - komplexní řízení kalibrací

Modul MET / CAL® obsahuje editor kalibračních procedur MET / CAL® a Runtime MET / CAL® pro automatické řízení kalibrací a automatizovaných etalonů (kalibrátorů).

MET / CAL® takto zvyšuje produktivitu pracovního toku až o 80 % ve srovnání s manuálním přístupem, který je samozřejmě také podporován pro etalony bez automatizace. Zkrátí se tak čas kalibrace například spektrálního analyzátoru z 11 hodin na 1 nebo 2 hodiny.

Lze tak provádět řízené, ověřené a konzistentní kalibrace s využitím předem vytvořených a simulací ověřených kalibračních postupů, nebo využít komplexní knihovnu tisíců automatizačních procedur vytvořených komunitou tisíců uživatelů software MET / Cal po celém světě a ověřených výrobcem.



Použití MET / CAL® eliminuje chyby i riziko lidských chyb, ke kterým může dojít, pokud technik upraví výstupy nebo zaznamenává data ručně.

Automatická kalibrace, která podporuje váš způsob fungování laboratoře

Software MET / CAL je strukturován tokem přístrojů kalibračním procesem a řeší širokou škálu testů a potřeb při kalibraci měřicích přístrojů, od jednoduchých až po velmi komplexní.

Je založen na tradičním kalibračním modelu jako jeho rámci – porovnává přístroj se standardem známé nejistoty.

Přidání nové položky do databáze

Jakmile nástroje přijdou do laboratoře ke kalibraci, přidají se do databáze. Technik zadá základní informace o přístroji do formuláře, výběrem z rozevíracích nabídek pro ověření zajistí konzistentní a přesné zadání.

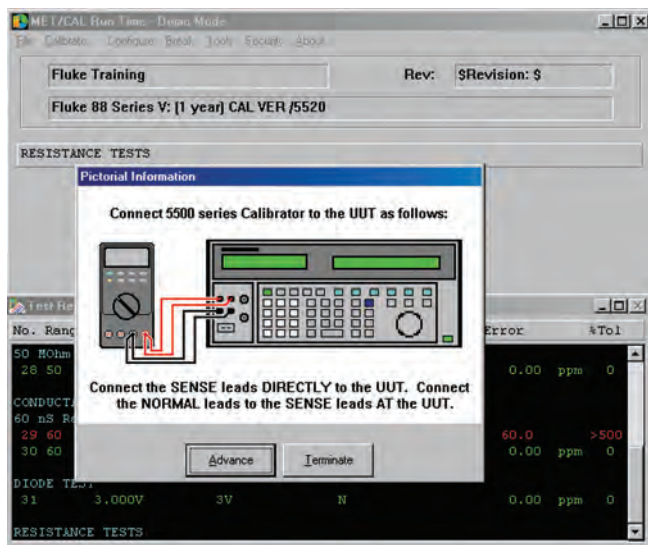
Automatická kalibrace pomocí softwaru MET / CAL je, jak již bylo naznačeno rychlá, opakovatelná a výkonná. Na první pohled je pro většinu lidí MET / CAL přínosný svým dramatickým zvýšením produktivity. Zajištění konzistence je však jeho další významnou výhodou. Samo-dokumentované postupy zajistí, aby všichni operátoři dokončili všechny testy a shromáždili příslušná testovací data stejným způsobem pokaždé, když je postup proveden. I běžní operátoři jsou vedeni grafickým průvodcem, a tak provádějí i ty nejsložitější kalibrace správně a přesně.

Zachycení kompletních výsledků kalibrace

Software MET / CAL zachycuje výsledky kalibrace včetně údajů o trasovatelnosti a podmínkách prostředí. Po dokončení kalibrace uloží MET / CAL informace do databáze, aby bylo možné je zkontrolovat na obrazovce nebo vytisknout. Kompletní záznamy výsledků pomohou identifikovat podmínky mimo toleranci a splnění požadavků na záznamy podle normy ISO 17025.

Ukládání výsledků a stav aktualizací

Software MET / CAL ukládá všechny parametry všech testů v neformátovaných „hrubých hodnotách“, tak aby bylo snadné vytváření zpráv a dalších analýz. Protože každý test je plně zdokumentován pro každý spuštěný postup, a všechny informace o etalonu, návaznosti atd. uloženy do databáze, je kdykoliv k dispozici kompletní dokumentace stavu kalibrace, historie, průměrnosti a trasovatelnosti pro všechny provedené testy a měření na daném přístroji.



Tisk kalibračních protokolů

Software MET / CAL obsahuje řadu formátů zpráv, které lze zobrazit na obrazovce a poté vytisknout. Na konci každé kalibrace se technik může rozhodnout vytisknout výsledky kalibračních testů nebo kalibrační list (certifikát o kalibraci). Všechny jsou připravovány pomocí programu Crystal Reports, takže je lze upravit podle potřeb uživatele nebo použít jako šablony pro vytváření vlastních zpráv.

Modul Runtime MET / CAL byl přepracován s využitím moderního a intuitivního designu. Seznam pro výběr kalibrovaných přístrojů je identický se seznamem v MET / TEAM, díky čemuž je mnohem jednodušší vybrat daný přístroj, který bude kalibrován. Pro maximální flexibilitu je možné hledat podle čísla modelu, výrobního čísla a mnoho dalších parametrů. Postupy jsou k dispozici prostřednictvím rozevírací nabídky, kterou lze zabezpečit, takže postup mohou vybrat pouze oprávnění uživatelé. V průběhu kalibrace je vidět, jak postupuje každý krok kalibrace i stav úspěšnosti / neúspěchu každého kroku testu a další užitečné informace.

Pomocí editoru procedur můžete psát a upravovat své vlastní kalibrační postupy

Intuitivní a flexibilní uživatelské rozhraní editoru MET / CAL vyvinuté nástrojem Microsoft Visual Studio z něj činí výkonný vývojový nástroj. Funkce jako jsou data výsledků testů a možnosti konfigurace, jsou propojeny s modulem Runtime. Editor je vybaven online systémem nápovědy, který p Editor procedur také zahrnuje možnost organizovat soubory procedur. Můžete je uspořádat logicky pomocí

struktury projektu / řešení, která nejlépe vyhovuje vaší laboratoři podle obchodních nebo provozních pravidel. Výkonný jazyk procedur softwaru MET / CAL používá kalibračně orientovaný přístup stavebních bloků.

Vyhodnocuje nejistotu měření

Software MET / CAL umožňuje stanovit minimální poměry nejistoty testu (TUR), aby bylo zajištěno, že testy prováděné kalibrátorem jsou dostatečně přesné pro kalibrovaný přístroj. MET / CAL obsahuje podporu pro band banding, což dává metrologům možnost přizpůsobit algoritmus tak, aby zpřísnil limity průchodu spojené se specifikacemi kalibrovaného zařízení.

Zkušební běh procedury

Procedury lze spouštět v režimu ladění přímo v editoru procedur, aby bylo možné snadno vysledovat případné chyby. MET / CAL dokonce sleduje poměry nejistoty testů, specifikace a schopnosti kalibrovaného přístroje a informace o trasovatelnosti, aby zajistil, že postupy splňují požadované standardy kvality pro přiměřenost a platnost.

Při vývoji nových kalibračních procedur může být požadavek na možnost ji později upravit, nebo naopak ji zamknout, aby ji nebylo možné změnit ostatními. Software MET / CAL umožňuje kompilaci procedur do spustitelného souboru, takže ji později nelze upravovat, pokud není zpřístupněn zdrojový soubor. Kompilaci lze tak chránit akreditované postupy před změnami v průběhu času mezi kalibracemi, omezit přístup v závislosti na úrovních přístupu uživatelů do systému a zajistit tak kontrolu mezi verzemi.

MET / TEAM® - nejkompaktnější řešení pro správu kalibrovaných zařízení

Modul MET / TEAM je založen na webovém prohlížeči a společně s MET / CAL pracuje nad databází Microsoft SQL Server 2010 a vyšší, který poskytuje spolehlivou správu dat a výkon. Ať už je uživatelem velká laboratoř s více propojenými stanicemi nebo malá laboratoř s jediným počítačem, tak má možnost škálovat podle svých potřeb.

- Plně vybavený pro sledování a správu kalibrovaných přístrojů i etalonů
- Je plně integrován s funkcemi kalibračního softwaru Fluke MET / CAL®
- Obsahuje funkce pro vytváření, úpravy a ukládání kalibračních listů o ruční kalibraci
- Využívá populární databázové servery Microsoft® SQL pro spolehlivé, cenově dostupné a chráněné ukládání dat a kalibračních procedur
- Zajišťuje správu pracovního toku
- Umožňuje přizpůsobení databázových polí a štítků
- Nabízí klávesové zkratky (rychlé odkazy) pro snadnou navigaci
- Podporuje řízení procesů kvality na podporu akreditace
- Lze vytvářet vlastní formuláře kalibračních listů a reportů programem Crystal Reports Professional
- Používat automatická e-mailová upozornění a svolávání přístrojů do kalibrace

- Jako rozšíření je možné používat Mobilní modul pro kalibraci na místě a Zákaznický webový portál umožňující přístup odkudkoli a pouze pro čtení pro vzdálené zákazníky
 - Obchodní modul pro nabídky, fakturaci a smluvní ceny
- Několik úrovní zabezpečení umožňují řídit přístup k datům na základě samostatných uživatelů, uživatelských skupin nebo jejich kombinací. Jednotliví uživatelé tak vidí pouze informace, které jsou v jejich bezpečnostní úrovni.

Software MET / TEAM vám poskytuje téměř neomezené možnosti přizpůsobení

Můžete si přidat až 800 informačních polí, změnit pole štítků i typy polí záznamů, které vyhovují vašemu obchodnímu modelu. Pole mohou být povolena, deaktivována nebo zneviditelněna. Můžete dokonce prosazovat obchodní pravidla vytvořením „datových kontrol“ pro tlačítka a pole, takže často používané termíny a jména budou hláskovány pokaždé stejným způsobem a povinná pole budou vždy vyplněna.

Snadné vytváření kalibračních protokolů

Software MET / TEAM využívá populární nástroj pro vytváření reportů z databázi Crystal Reports® Profesional. Dodávka zahrnuje sadu výchozích šablon zpráv, které lze použít „tak, jak jsou“ nebo je upravit podle potřeby. Crystal Reports umožňuje snadno začlenit grafické prvky, jako např. loga či značky a prohlížet si zprávy online nebo je vytisknout.

MET / Team pomáhá s dodržováním standardů kvality

Software MET / TEAM podporuje trasovatelnost a požadavky na vedení záznamů o kvalitě a akreditační standardy, včetně ISO 17025, ISO 9000. Podporuje také elektronické podpisy a systém, který sleduje podrobné transakce týkající se jakékoli položky v záznamu. Zaznamenává a protokoluje všechny změny a udržuje je v historii pro audit. Je tak dokumentován proces kvality pro kritéria použitá při rozhodování. Tyto funkce podporují dodržování kritérií mnoha kvalitativních a regulačních norem.

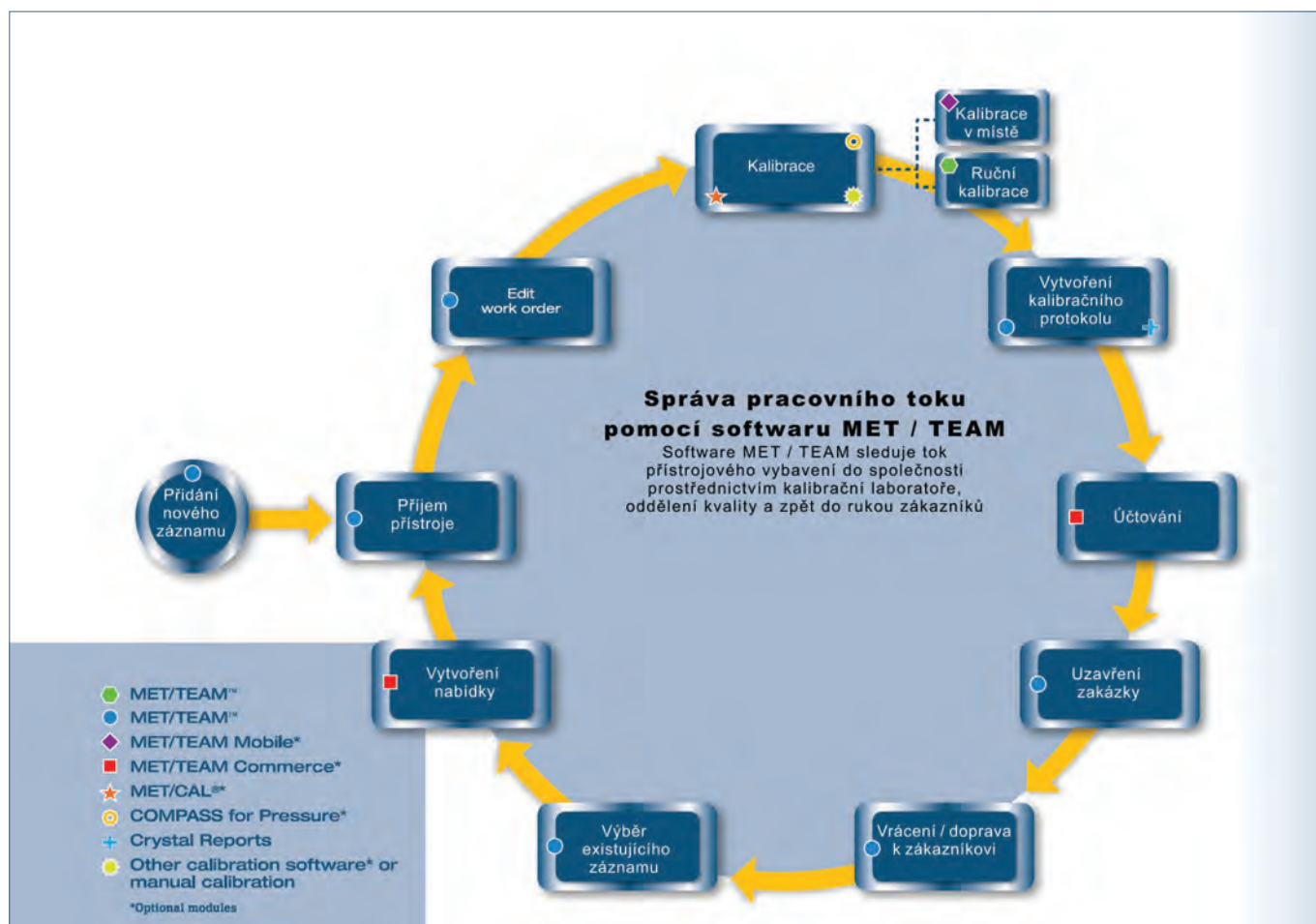
Software MET / TEAM™ funguje stejně jako vy

Software MET / TEAM sleduje tok přístrojové techniky do společnosti a přes kalibrační laboratoř a oddělení řízení kvality.

Nastavení a správa dat

Nastavení dat je díky flexibilitě hráčka

Rozhraní MET / TEAM lze nastavit podle vaší volby z osmi jazyků nebo si většinu popisů přejmenovat ve vlastním jazyce. Můžete nastavit kontakty jako jednotlivce a přidružit je k zařízením; vytvořit subjekty podléhající událostem nebo generická zařízení Kategorie; sledovat informace na základě typu přístrojů, výrobních čísel, čísel zakázek a mnohem více. Každá obrazovka je snadno čitelná a vysoce přizpůsobitelná; tlačítko Rychlý odkaz umožňuje vstoupovat hlouběji do údajů, pokud si přejete.



Pokud je používán také pro organizaci oprav MET / TEAM umožňuje udržovat kompletní databáze náhradních dílů pro organizaci oprav a přidat spotřebu dílů na pracovní příkazy, snadnou správu inventáře dílů.

Správa pracovního toku

MET / TEAM podporuje správu pracovních toků a umožňuje snadno spravovat běžně prováděné úkoly, jako například

- Přijmout přístroj nebo skupinu přístrojů do záznamu: přístroj přijmout prostřednictvím online „Najít“ nebo čárového kódu, a tisk potvrzení pro zákazníky
- Konfigurovat typy služeb, stav, priority, požadovat data a další rozšířená data.
- Upravit pracovní příkaz: přiřadit techniky, naplánovat datum splatnosti a další data údržby, vybrat postup, nastavit kalibrační intervaly.
- Provést kalibrace: v MET / CAL nebo v jiném kalibračním automatizačním software jako například Fluke KOMPAS pro kalibraci tlaku.

MET / TEAM také podporuje ruční provádění kalibrace bez využití automatizace

Lze evidovat předměty, zadávat data naměřená data, počítat nejistoty s využitím zajedených etalonů i ruční metodou, například u kalibrace mechanických a podobně.

Svolání zařízení ke kalibraci

MET / TEAM umožňuje automaticky generovat zprávy pro svolávání zařízení ke kalibraci a zaslat je na specifikované kontakty s informací o nutnosti provést kalibraci do daného data. Lze tedy naplánovat e-mailové upozornění, a systém odešle například oznámení „kalibrace nutná“. Tyto e-maily mohou být obecné nebo přizpůsobené pro různé zákazníky.

Správa zařízení, zákazníků, a dodavatelů

S MET / TEAM máte téměř neomezenou flexibilitu vytvářet záznamy pro osoby a místa, a spravovat vztahy mezi nimi. Pokud má organizace více laboratoří a oddělení, nebo více míst, v MET / TEAM je možné nastavit a spravovat širokou škálu rozmanitých typů zařízení podle místa, laboratoře, oddělení nebo jakéhokoliv jiného kritéria a navázat vztahy mezi nimi. Lze také vytvářet a udržovat podrobné informace o lidech, včetně vašich zákazníků, vašeho kalibračního týmu a dodavatelů s podporou GDPR.

MET / TEAM lze rozšířit o další tři moduly:

1/ Mobilní aplikace

Tento modul umožňuje používat MET / TEAM a Software MET / CAL mimo laboratoř v terénu pro kalibraci na místě. Na místě jsou k dispozici konkrétní údaje o zákaznících, které jsou potřeba, všechny relevantní informace včetně kalibračních postupů. Kalibrace je provedena na místě přes web. Po návratu lze importovat vše do hlavní databáze. Mobilní modul má stejné rozhraní jako MET / TEAM a umožňuje snadnou a spolehlivou synchronizaci dat.

2/ Zákaznický webový portál

Pokud laboratoř často přijímá hovory od zákazníků, kteří chtějí znát stav jejich kalibrace nebo, pak je tu modul Webový portál. Ten umožňuje poskytnout přístup pouze pro čtení ke všem nebo k části databáze laboratoře, aby si zákazníci mohli prohlédnout jejich informace online kdykoli. Zákazníci mohou zkontrolovat stav jejich zakázek, zobrazit informace o přístrojích, tisknout reporty, přistupovat k jejich kalibračním protokolům a mnoho dalšího. Tento portál může být výhodný i interní potřebu velkých organizací pro zpřístupnění dat pro různá oddělení.

3/ Obchodní modul

Tento modul umožňuje generovat vlastní nabídky pro kalibrace, vytvářet faktury a odesílat faktury zákazníkům. Lze vytvářet smluvní ceny, slevy nebo příplatky s definovnými daty platnosti.

Jak již bylo řečeno Modul MET / TEAM je integrován s kalibračním modulem MET / CAL. Na MET / TEAM lze však napojit i další kalibrační programy od společnosti Fluke, které jsou k dispozici pro široký rozsah parametrů kalibrace.

Především je to program COMPASS® for Pressure, což je univerzální platforma pro automatizovanou kalibraci tlakových zařízení, nebo rozšíření COMPASS® for flow pro kalibraci zařízení měřících průtok. Dalším modulem je software MET / TEMP II, který umožňuje snadno automatizovat kalibraci široké škály teplotních senzorů, testování dávky senzorů, výpočet koeficientů charakterizace a tisk kalibračních zpráv. Všechny tyto moduly jsou integrovány s programem MET / TEAM, který lze dodat i samostatně.

Kalibrační software MET/CAL Calibration Management Software, díky své koncepci vyhoví

jak velké kalibrační laboratoři s mnoha pracovišti a širokou škálou kalibrovaných veličit, kde je instalován na samostatném serveru s připojenými mnoha stanicemi, tak i malé laboratoři s jedním PC, kde běží jak serverová část, tak i vlastní kalibrační program. Je plně kompatibilní s Microsoft Windows 10 a Microsoft SQL databází. Pro další informace a případnou demonstraci se obraťte na výhradního zástupce firmy Fluke Calibration, společnost Blue Panther s.r.o. (www.blue-panther.cz).



NABÍDKA AKCÍ ČMS NA II. POLOLETÍ ROKU 2021



Česká metrologická společnost, z. s.

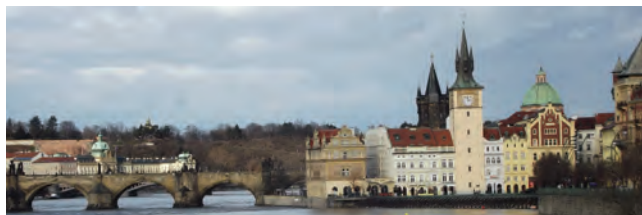
Zakládající člen Českého svazu
vědeckotechnických společností

Novotného lávka 5, 110 00 Praha 1

tel.: 606 957 233

e-mail: cms-zk@csvts.cz

www.spolky-csvts.cz/cms



Místo a datum konání	Kód akce	Název akce
13. 9. 2021 ČSVTS Praha učebna č. 318	K 575-21	Nejistoty měření ve strojřerství
15. 9. 2021 ČSVTS Praha, učebna č. 318	K 569-21	Měření tvrdosti
11. 10. 2021 ČSVTS Praha, učebna č. 318	K 570-21	Řízení metrologie v organizaci
13. 10. 2021 ČSVTS Praha, učebna č. 315	K 568-21	Měření elektrických veličin s praktickými ukázkami kalibrace vybraných měřidel

29. 11. a 30. 11. 2021 13. 12. a 14. 12. 2021 ČSVTS Praha, učebna č. 501	K 576-21	54. základní kurz metrologie
22. 11. 2021 ČSVTS Praha, učebna č. 318	K 577-21	Měření momentu síly
8.12.2021 ČSVTS Praha, Klub lávka	K 578-21	22. fórum metrologů
Trvalá nabídka	K 90	Korespondenční kurz metrologie

Nabídka akcí ČMS na II. pololetí roku 2021 může být v případě změn aktualizována. Aktuální informace budou zveřejněny na <https://www.spolky-csvts.cz/cms> v menu Odborné akce/ Kalendář akcí ČMS (<https://spolky-csvts.cz/cms/kalendar-akci-cms>).

Redakční rada:

Ing. Zdeňka Pohořelá (předsedkyně), Mgr. Kristýna Vančurová (místopředsedkyně), Ing. Milan Badal, Ing. Miroslav Čermák, Mgr. Václava Holušová, Doc. Ing. Jiří Horský, CSc., Ing. František Jelínek, CSc., Ing. Jiří Kazda, Mgr. Petra Krůčková, Ing. Petr Pánek, CSc., RNDr. Klára Popadičová, Ing. Pavel Rubáš, Ing. Radek Sedláček, Ph.D., doc. RNDr. Jiří Tesař, Ph.D., Ing. Josef Vojtíšek.

Přizvání: PhDr. Bořivoj Kleník – šéfredaktor.

Časopis vychází 4 x ročně. Cena výtisku 80,- Kč, roční předplatné 320,- Kč + poštovné a balné + 10 % 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, Na Žertvách 132/24, 180 00 Praha 8. IČO: 48135267. Povolení tisku: registrace MK ČR 6111, MIČ 46 676, ISSN 1210-3543.

Místo vydávání: Praha. Datum vydání: srpen 2021. 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:

Měřící cela diferenciálního skenovacího kalorimetru na ČMI OI Praha.

Photo on the front page:

Measuring cell of differential scanning calorimeter located at ČMI Prague.

