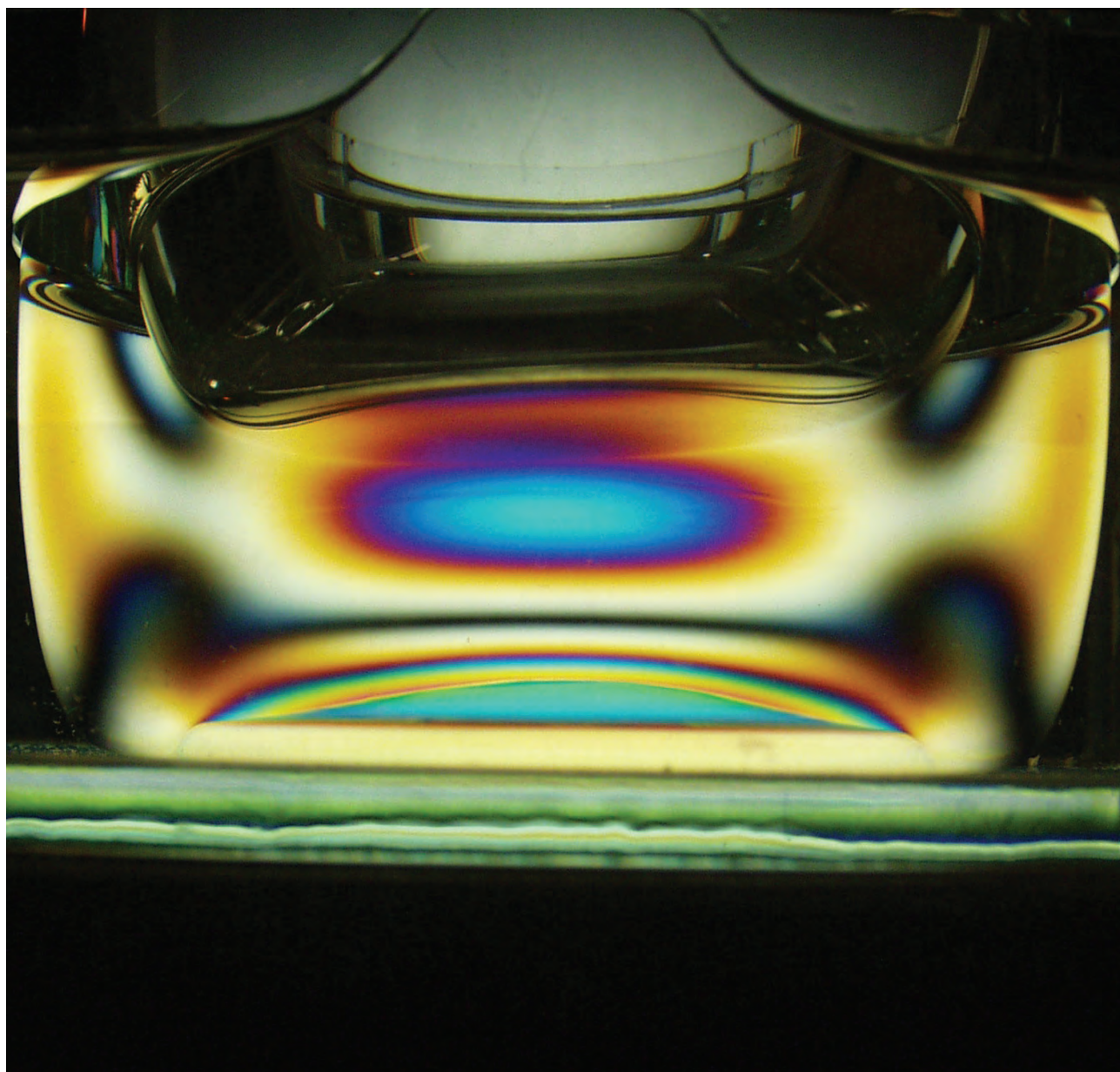


3/2019
ROČNÍK 28

METROLOGIE

VĚDECKÁ
LEGÁLNÍ
PRAKTICKÁ



VĚDA A VÝZKUM

doc. Ing. Jaroslav Roztočil, CSc. Ing. Vojtěch Vigner, Ph.D., doc. RNDr. Jiří Tesař, Ph.D. Ing. Alexander Kuna, Ph.D., Ing. Blanka Čemusová RNDr. Ing. Vladimír Smotlacha, Ph.D. Ing. Josef Vojtěch, Ph.D. Systém přenosu času mezi Laboratoří přesného času a frekvence FEL ČVUT a Státním etalonem času a frekvence.....	1
Ing. Miroslava Benková Státní etalon velmi malých průtoků kapalin.....	7
Mgr. Martina Vičarová Státní etalon elektrolytické konduktivity v rozsahu (0,005 – 10) S·m ⁻¹	9
Prof. Ing. Jaroslav Boháček, DrSc. Měřicí můstky vyvažované proměnnými napětími.....	12

METROLOGIE V PRAXI

Ing. Petr Havel Zjišťování vnitřního napětí ve sklářské praxi.....	15
doc. Ing. Jiří Horský, CSc. Kalibrační list je vizitkou laboratoře – část 3.....	20
Ing. Martin Valenta Sjednocování výpočtu CMC v AKL v oborech tlak a statický objem	27
Ing. Pavel Rubáš, Ph.D. Příspěvek k problematice zastínění zemědělských pozemků stavbami.....	34

INFORMACE

Ing. Jiří Kazda Informace o práci českého kalibračního sdružení (ČKS)	37
--	----

PR

Coptis	39
ABF – FOR ARCH – čestná vstupenka	40

Nabídka akcí ČMS na II. pololetí roku 2019

SCIENCE AND RESEARCH

doc. Ing. Jaroslav Roztočil, CSc. Ing. Vojtěch Vigner, Ph.D., doc. RNDr. Jiří Tesař, Ph.D. Ing. Alexander Kuna, Ph.D., Ing. Blanka Čemusová RNDr. Ing. Vladimír Smotlacha, Ph.D. Ing. Josef Vojtěch, Ph.D. The System for Transferring Time Between the Laboratory of Precise Time and Frequency at the FEE, CTU and the National Standard for Time and Frequency.....	1
Ing. Miroslava Benková National Standard for Very Low Flow Rates of Liquids	7
Mgr. Martina Vičarová National Standard for Electrolytic Conductivity in the Range (0.005 - 10) S·m ⁻¹	9
Prof. Ing. Jaroslav Boháček, DrSc. Bridge Circuits Balanced by Variable Voltages	12

METROLOGY IN PRACTICE

Ing. Petr Havel Detection of Internal Tensions in Glassworks Practice...15	15
doc. Ing. Jiří Horský, CSc. The Calibration Certificate Represents the Laboratory - Part 3.....	20
Ing. Martin Valenta Unifying the CMC Calculation in ACLs in the Fields of Pressure and Static Volume	27
Ing. Pavel Rubáš, Ph.D. On the Problem of Shading of Agricultural Parcels by Structures.....	34

INFORMATION

Ing. Jiří Kazda Information about the Activities of the Czech Calibration Association (ČKS).....	37
---	----

PR

Coptis	39
ABF – FOR ARCH – Honorary Ticket	40

The List of ČMS Events in the 2nd Half of 2019

SYSTÉM PŘENOSU ČASU MEZI LABORATOŘÍ PŘESNÉHO ČASU A FREKVENCE FEL ČVUT A STÁTNÍM ETALONEM ČASU A FREKVENCE

doc. Ing. Jaroslav Roztočil, CSc.

Ing. Vojtěch Vigner, Ph.D., Ing. Stanislav Roškot

Elektrotechnická fakulta ČVUT

Ing. Alexander Kuna, Ph.D.

Ing. Blanka Čemusová

Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR

RNDr. Ing. Vladimír Smotlacha, Ph.D.

Ing. Josef Vojtěch, Ph.D.

CESNET, z.s.p.o.

Úvod

Článek seznamuje s řešením systému přenosu času po optických vláknech mezi Laboratoří přesného času a frekvence FEL ČVUT (Praha 6, Dejvice) a Laboratoří státního etalonu času a frekvence (Praha 8, Kobylisy). Systém přenosu času byl řešen v rámci Programu rozvoje metrologie v letech 2017 – 2018.

Laboratoř přesného času a frekvence (LPČF) FEL ČVUT je prvním univerzitním pracovištěm v České republice, které svoji výzkumnou infrastrukturu v oblasti metrologie času navázalo na Státní etalon času a frekvence. Tato infrastruktura je určena pro výzkum a specializovanou výuku v magisterském a doktorském studiu na ČVUT. Laboratoř budovaná od roku 2013 disponuje vysoce kvalitním přístrojovým vybavením (rubidiovými frekvenčními normály, přesnými čítači, GNSS přijímači) včetně cesiových hodin 5071A (Hewlett Packard resp. Microsemi).

První cesiové hodiny Hewlett Packard (se standardní trubici), pronajaté společností Amtest-TM, byly v laboratoři LPČF instalovány v dubnu 2015. Druhé cesiové hodiny Microsemi (s trubicí typu High Performance) jsou v provozu od října 2018.

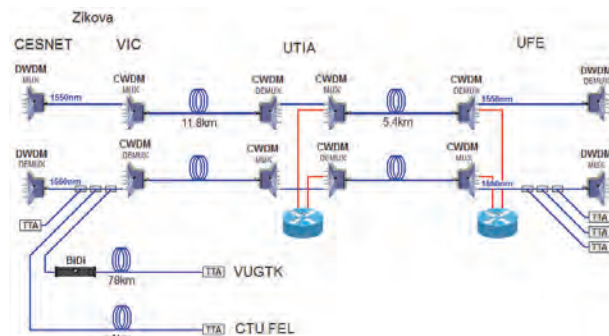
Časová stupnice FEL Time byla generována od dubna 2015 do ledna 2019 cesiovými hodinami Hewlett Packard, od února 2019 je odvozena z hodin Microsemi. Pro vyhodnocení parametrů generované stupnice je potřebné průběžně porovnávání s národní aproximací časové stupnice UTC, tedy UTC(TP), která je vytvářena Laboratoří Státního etalonu času a frekvence (LSEČF) v Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd (ÚFE AV) České republiky. Toto porovnání se provádí metodou společných pozorování (*Common-View*) pomocí přijímačů GTR 51/55. Jedná se o přijímače GNSS, které průběžně měří časovou diferencii lokálních časových stupnic vůči času GPS (resp. GALILEO nebo GLONASS).

Vzhledem k tomu, že existuje optické propojení mezi FEL ČVUT a ÚFE AV ČR využívající T/F infrastrukturu CESNET [1], bylo možné pro porovnávání časových stupnic FEL Time a UTC(TP) využít přenos času po optickém vlákně. Pro tento přenos se využívá originální systém (v tomto textu pracovní označovaný jako MATRIX), který byl vyvinut v CESNETu a od roku 2011 slouží pro optické porovnávání časových stupnic mezi národními laboratořemi času a frekvence ÚFE (Praha) a BEV (Viedeň) [2].

1 Metody řešení

1.1 Současný stav řešení optické trasy FEL ČVUT - ÚFE AV ČR

Stávající řešení optické trasy je zobrazeno na obr. 1 [3].



Obr. 1: Schéma optické trasy mezi laboratořemi na FEL ČVUT (LPČF) a v ÚFE AV (LSEČF)

Pro přenos datových signálů po vláknech (časový transfer nevyjímaje), kdy jsou součástí optoelektronických adaptérů transceiverů typu SFP, resp. SFP+, je ideální použít nenasvícené vlákno (*dark fiber*). Takové řešení je ale finančně velmi náročné vzhledem k ceně pronájmu vlákna, nehledě na to, že nemusí existovat volné vlákno mezi propojovanými lokalitami, což by znamenalo položení nového optického kabelu. Ekonomickým řešením je využití vyhrazených kanálů WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) v rámci existujících optických tras. To je případ řešení zmíněné trasy mezi LPČF na FEL ČVUT a LSEČF v ÚFE AV ČR. Všechny tyto trasy jsou součástí Národní infrastruktury pro přenos času a frekvence [4].

Celá trasa je tvořena následujícími segmenty:

1. FEL – VIC

V budově FEL byl instalován optický kabel mezi Laboratoří přesného času a frekvence (kde jsou umístěny cesiové hodiny) a optickým rozvaděčem v přízemí budovy. V kampusu ČVUT v Dejvicích se podařilo nalézt v již dříve položených kabelech nevyužitá jednovidově optické vlákno mezi budovou FEL (Praha 6, Technická 2) a VIC (Výpočetní a informační centrum ČVUT, Praha 6, Zikova 2). Tento segment je tedy vyhrazen pro aplikaci přenosu času.

2. VIC – ÚTIA

Obě lokality jsou propojeny páteřní linkou sítě PASNET, která využívá technologii CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*). Mezi lokalitami VIC a ÚTIA je již několik let pro aplikace přenosu času v rámci T/F infrastruktury CESNET vyhrazen kanál 1550 nm o šířce 20 nm, do kterého je možné namapovat až 16 kanálů DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) o šířce 0,8 nm. Vzhledem k tomu, že technologie CWDM je pasivní, tedy bez optických telekomunikačních zesilovačů, které jsou pro omezení nežádoucích oscilací vybaveny izolátory, je možné přenos času realizovat obousměrně v jednom vlákně. V lokalitě VIC jsou instalovány optické filtry, které přichází signál

v kanálu 1550 nm rozdělují na jednotlivé kanály DWDM o šířce 0,8 nm. V současné době je provozován přenos času v rámci T/F infrastruktury CESNET [5] mezi ÚFE a pracovišti VÚGTK (Pecný), CESNET a FEL, je tedy využito celkem 6 kanálů.

3. ÚTIA – ÚFE

ÚFE AV je připojen do uzlu sítě PASNET v Ústavu teorie informace a automatizace AV ČR (ÚTIA AV) párem vláken také s nasazeným systémem CWDM. V rámci uzlu ÚTIA je celý CWDM kanál 1550 nm přímo opticky propojen z linky VIC-ÚTIA do linky ÚTIA-ÚFE.

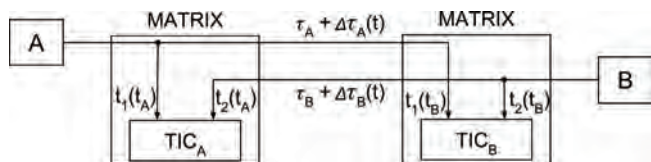
4. ÚFE

V lokální síti ÚFE je CWDM kanál 1550 nm rozdělen filtry na jednotlivé DWDM kanály pro přenosy času z FEL a dalších pracovišť. Propojení ÚFE do Internetu je realizováno týmě párem vláken na kanále 1310 nm rychlostí 10 Gb/s (ve schématu zakresleno červeně).

Celková délka trasy FEL – ÚFE je přibližně 20 km. Kvůli velkému počtu konektorů a pasivních síťových prvků je útlum celé optické trasy vyšší než 20 dB. Vzhledem k dostatečné citlivosti optoelektronických adaptérů ale nebylo nutné použít optický zesilovač, který by řešení prodražil a současně by byl dalším zdrojem nejistot měření.

1.2 Použitá metoda měření

Pro porovnání časových stupnic mezi laboratořemi LPČF a LSEČF je použita metoda obousměrného přenosu ([6], [7], [8]). Princip je zřejmý z obr. 2. Dva adaptéry jsou spojeny jednou obousměrnou optickou linkou (nebo dvojicí jednosměrných linek). Každý adaptér má přiveden na vstup signál 1PPS z lokálních hodin. Veličiny $t_1(t_A)$ a $t_2(t_B)$ reprezentují časové okamžiky, kdy jsou zakódované signály 1PPS z hodin v místech A a B vyslány do optické linky. Veličiny $t_2(t_A)$ a $t_1(t_B)$ reprezentují časové okamžiky, kdy jsou přijaty a dekodovány signály 1PPS ze vzdálených adaptérů.



Obr. 2: Princip dvoucestné metody přenosu času.

Čítače TIC_A a TIC_B (*Time Interval Counter A, B*) měří časové intervaly mezi signály 1 PPS z lokálních a vzdálených hodin v místech A a B:

$$TIC_A = t_2(t_A) - t_1(t_A) = t_2(t_B) + \tau_B + \Delta\tau_B(t) - t_1(t_A) \quad (1)$$

$$TIC_B = t_1(t_B) - t_2(t_B) = t_1(t_A) + \tau_A + \Delta\tau_A(t) - t_2(t_B) \quad (2)$$

kde

τ_A resp. τ_B je časové zpoždění optické linky ve směru A->B resp. B->A

$\Delta\tau_A(t)$ resp. $\Delta\tau_B(t)$ okamžité fluktuace časového zpoždění optické linky ve směru A->B resp. B->A.

Odečtením (1) a (2) dostáváme časový rozdíl (*offset*) mezi hodinami v místech A a B:

$$t_2(t_B) - t_1(t_A) = 0,5 \cdot (TIC_A - TIC_B + \tau_A + \Delta\tau_A(t) - \tau_B - \Delta\tau_B(t)) \quad (3)$$

nebo asymetrii zpoždění na optických linkách:

$$\tau_A + \Delta\tau_A(t) - \tau_B - \Delta\tau_B(t) = TIC_B - TIC_A + 2 \cdot (t_2(t_B) - t_1(t_A)) \quad (4)$$

V případě ideální symetrické linky je zpoždění v obou směrech stejné a vztah (3) se zjednoduší:

$$t_1(t_A) - t_2(t_B) = 0,5 \cdot (TIC_A - TIC_B) \quad (5)$$

V reálné optické trase se přenáší signál buď jednosměrně na téže vlnové délce v páru vláken (takto byla v roce 2016 realizována trasa mezi LPČF FEL a časovou laboratoř CESNET [8]) nebo obousměrně v jediném vlákně, ovšem na různých vlnových délkách (to je případ optické trasy mezi LPČF na FEL a LSEČF v ÚFE realizované v roce 2017 [3]). V prvním případě je asymetrie časového zpoždění způsobena nesymetrií fyzické délky vláken, ve druhém případě odlišnou rychlostí šíření optického signálu na dvou různých vlnových délkách. V obou případech tedy existuje asymetrie zpoždění, se kterou musíme počítat v souladu se vztahem (3). Hodnotu $(\tau_A - \tau_B)$ lze stanovit kalibrační nebo může být, alespoň přibližně, vypočtena na základě známých parametrů přenosové trasy (rozbor byl proveden ve zprávě [3]).

Příčinou fluktuací časového zpoždění jsou zejména tyto vlivy:

- nestabilita vlnové délky optického vysílače
- důsledku chromatické disperze je rychlost šíření optického signálu ve vlákně závislá na vlnové délce. Časová nestabilita vlnové délky transceiverů se promítá do fluktuací zpoždění a představuje zdroj nejistoty asymetrie zpoždění.
- kolísání teploty vlákna

Projeví se na změně rychlosti šíření optického signálu ve vlákně v důsledku teplotní závislosti indexu lomu a fyzické dilatace vlákna. Tento vliv teploty se uplatní přibližně stejně v obou směrech přenosu, proto se do značné míry vzájemně kompenzuje.

Poznámka:

Obě laboratoře jsou vybaveny referenčními GNSS přijímači Dicom/Mesit GTR50/51/55, které umožňují porovnání časových stupnic metodou *Common-View* s využitím satelitního systému GPS. Nejistota určení časové difference porovnávaných stupnic UTC(TP) a FEL Time se pohybuje v řádu jednotek ns. Měření pomocí těchto přijímačů proto slouží jako kontrolní metoda, která může odhalit hrubé chyby měření, ale pro přesné stanovení asymetrie optické trasy má pouze omezený význam.

1.3 Kalibrace reálné optické trasy

Uvažujme systém pro přenos času, který je tvořen následujícími komponentami:

- dvojicí identických koncových adaptérů, které jsou připojeny k místním hodinám v každé lokalitě (signály 1 PPS a 10 MHz)
- konvertory signálu mezi elektrickou a optickou doménou (transceivery typu SFP)
- optickou jednovláknovou trasou mezi oběma lokalitami

Princip přenosu času je založen na symetrii celého zapojení, kdy se porovnává přijatý signál 1 PPS ze vzdáleného zařízení se signálem místních hodin. V reálné implementaci je vždy přítomna zbytková asymetrie (ve smyslu rozdílného zpoždění signálu v obou směrech), kterou je nutno stanovit kalibrací. Zatímco adaptéry s transceivery je možné dočasně přemístit do jednoho místa a provést měření, pro optickou trasu není přímé měření zpoždění možné, protože její koncové body jsou v geograficky rozdílných lokalitách.

1.3.1 Metoda určení asymetrie zpoždění použitých adaptérů

Pro účely měření jsou oba adaptéry (včetně transceiverů a filtrů) propojeny krátkým optickým kabelem (délka v řádu jednotek metrů) a zároveň jsou na oba adaptéry přivedeny signály 1 PPS a 10 MHz z jednoho zdroje. Rozdíl ve zpoždění přenosu mezi adaptéry udává nezbytnou korekci v souladu se vztahem (4). Tímto způsobem se provádí kalibrace pro pár adaptérů/transceiverů a příslušných optických filtrů (slouží pro rozbočení jednoho přenosového vlákna na oba konektory transceiveru).

1.3.2 Metoda určení asymetrie zpoždění optické trasy

Vzhledem k tomu, že pro přenos v obou směrech je využito jedno vlákno, fyzická délka trasy je stejná. Přenos signálu se provádí na rozdílných vlnových délkách v obou směrech.¹ Rychlost světla v optickém prostředí je udávána indexem lomu, který je závislý na vlnové délce. Jde o materiálovou konstantu, specifikovanou výrobcem vlákna. V reálné síti je lepší vliv závislosti indexu lomu na vlnové délce změřit (nemusíme znát přesný typ vlákna, trasa může být tvořena několika různými vlákny, uplatní se i vliv dalších optických prvků, např. filtrů, atd.)

Index lomu (*refractive index*) udává, kolikrát je rychlost světla v daném prostředí menší než ve vakuu. Index lomu závisí na vlnové délce a způsobuje jev označovaný jako materiálová disperze. Další jev – vlnovodová disperze je způsobena tím, že také geometrické vlastnosti vlákna šířící se signál ovlivňují. Vlnovodová disperze se rovněž projevuje jako závislost rychlosti šíření záření vlákem na vlnové délce. Ve výsledku působí oba tyto vlivy v optickém vláknu společně. Výsledný jev se nazývá chromatická disperze.

Světlo na různých vlnových délkách se tedy bude šířit rozdílnou rychlostí. Celkový časový rozdíl (asymetrie zpoždění) lze vyjádřit vztahem:

$$\Delta t = CD \cdot \Delta \lambda \quad (6)$$

kde

CD je celková chromatická disperze optické trasy (vlákna a pasivních optických prvků použitých na trase) [ps/nm]

$\Delta \lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ je rozdíl vlnových délek [nm]

Chromatická disperze optického vlákna závisí na koeficientu chromatické disperze a délce vlákna, kromě toho je

¹ Vzhledem k reálným vlastnostem optického vlákna (zejména tzv. „backscattering“) je nemožné spolehlivě přenášet optický signál na stejné vlnové délce pro trasu délky cca 20 km.

nutné uvažovat i vliv chromatické disperze dalších prvků, zejména filtrů. Vzorec (6) pak lze napsat jako:

$$\Delta t = (CD_{coef} \cdot L + CD_{pas}) \cdot \Delta \lambda \quad (7)$$

kde

CD_{coef} koeficient chromatické disperze optického vlákna [ps/nm/km]

L je délka vlákna [km]

CD_{pas} udává závislost indexu lomu pro ostatní optické prvky (filtry atd.) [ps/nm]

Typická hodnota CD_{coef} je 17,2 ps/nm/km (platí pro běžné vlákno G.652D). Např. pro dva sousední DWDM kanály (odstup 0,8 nm) a délku trasy 20 km činí rozdíl v době přenosu signálu 275 ps.

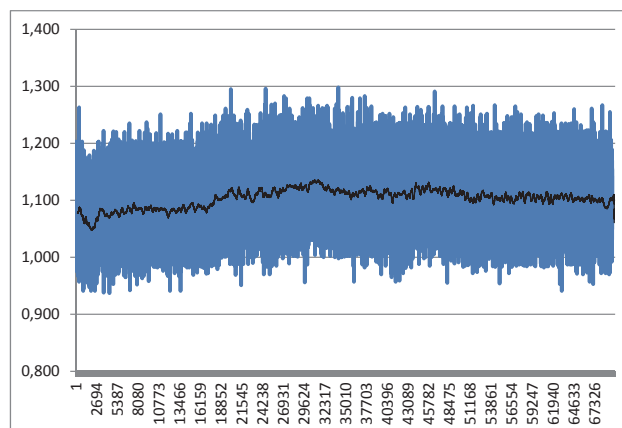
Pro výpočet rozdílu zpoždění můžeme, za předpokladu znalosti parametrů CD_{coef} a CD_{pas} použít vztah (7). V praxi bývá obtížné je zjistit, protože neznáme přesnou délku vlákna a často ani jeho typ. Vhodnějším řešením je proto změřit chromatickou disperzi CD celé trasy a použít vzorec (6).

Testovací sestava vychází z dosavadních adaptérů, kde jeden z nich je vybaven transceiverem s laditelnou vlnovou délkou. Nevadí, že tento transceiver nebyl předmětem kalibrace v předchozím bodě, protože nás nebude zajímat absolutní hodnota asymetrie zpoždění, ale jen její změna v závislosti na změně vlnové trasy. Ladění vlnové délky se provádí jen v rámci šířky kanálu DWDM, tedy typicky v rozsahu $\pm 0,4$ nm od středu kanálu. Uvedená metoda byla již dříve ověřena na testovací trase o délce 187 km [1].

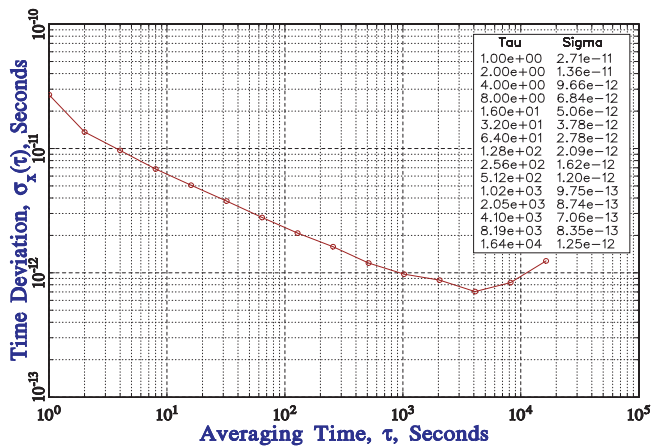
2. Dosažené výsledky

2.1. Výsledky měření asymetrie zpoždění optoelektronických adaptérů

Měření na principu metody popsané v odst. 1.3.1 proběhlo 1. až 2. srpna 2018 v laboratoři SEČF v ÚFE AV, kam byl krátkodobě převezen adaptér používaný na FEL. Výsledek měření je zobrazen na obr. 3. Střední hodnota asymetrie $\tau_A - \tau_B$ na základě zpracování měřených dat podle vztahu (4) vychází 1,103 ns; standardní nejistota $u = 30$ ps). Šumové chování optoelektronických adaptérů vyjádřené pomocí metriky TDEV (*Time Deviation*) je zobrazeno na obr. 4.



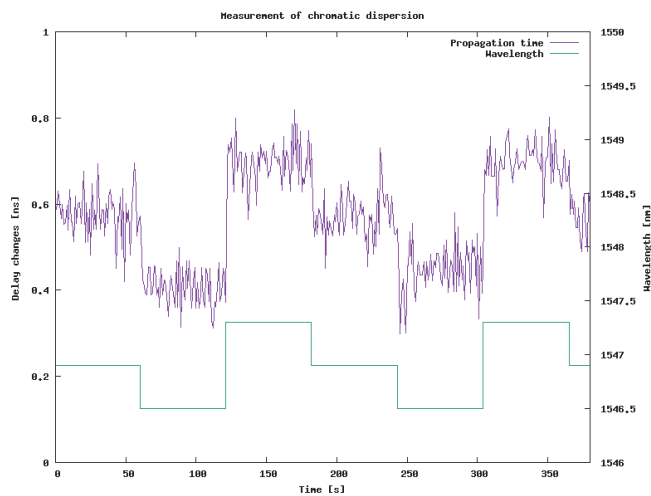
Obr. 3: Naměřená asymetrie zpoždění optoelektronických adaptérů $\tau_A - \tau_B$ [ns] v závislosti na čase [s]; černá čára představuje asymetrii počítanou jako klouzavý průměr z 256 vzorků



Obr. 4: Parametr TDEV reprezentující šumové chování optoelektronických adaptérů při testu asymetrie

2.2. Výsledky měření asymetrie zpoždění optické trasy

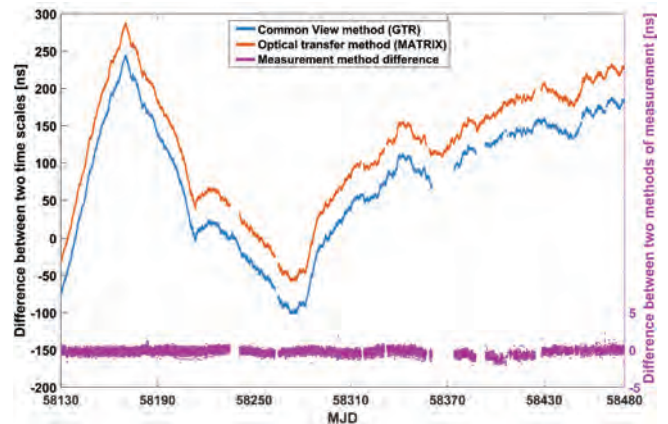
Výsledek měření vlivu chromatické disperze je demonstrován na obr. 5. Asymetrie zpoždění celé optické trasy mezi LPČF FEL a LSEČF v ÚFE vychází přibližně 300 ps pro změnu vlnové délky optického signálu o 0,8 nm, standardní nejistota u = 20 ps. Při měření byl použit programovatelný transceiver v optoelektronickém adaptéru na FEL, u kterého byla periodicky měněna vlnová délka 1546,9 nm o +/- 0,4 nm (tedy na hodnoty 1547,3 nm a 1546,5 nm).



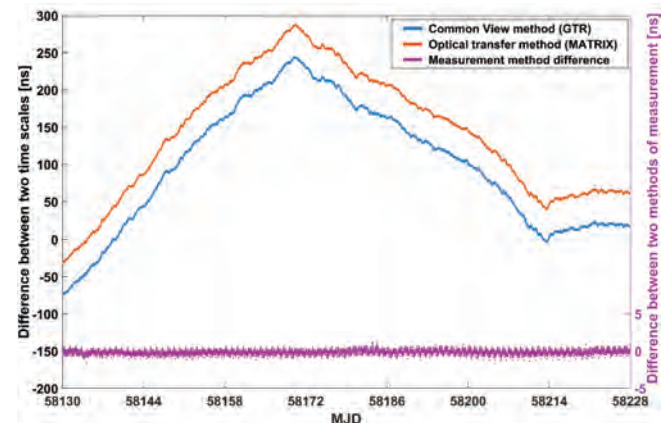
Obr. 5: Závislost zpoždění optické trasy při změně vlnové délky optického signálu o +/- 0,4 nm

2.3. Výsledky dlouhodobých měření časové stupnice FEL Time

Optická trasa FEL – ÚFE byla zprovozněna 27. června 2017. Nepřetržitá měření probíhají od 8. července 2017. Měřená data jsou archivována na pracovišti řešitele. Výsledky měření časových odchylek stupnice FEL Time vůči UTC(TP) v roce 2018 a na začátku roku 2019 jsou prezentovány na následujících grafech (obr. 6 až 10). Kvůli lepší čitelnosti je výsledek měření metodou optického transferu v grafech na obr. 6, 7 a 9 posunut o 40 ns.

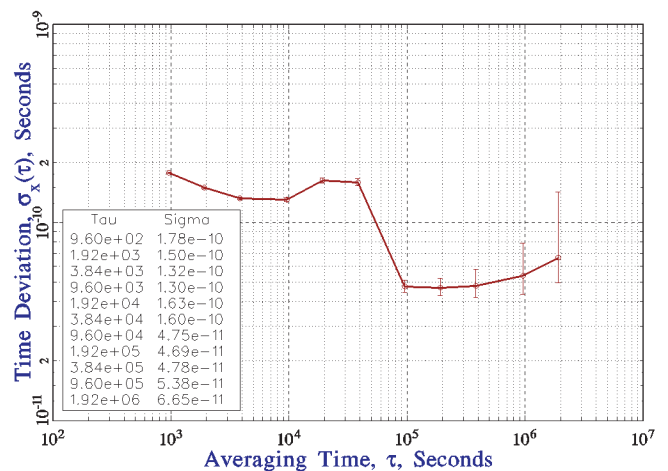


Obr. 6: Časové difference stupnice FEL Time vůči UTC(TP) měřené metodou GPS CV a metodou dvoucestného přenosu po optickém vlákně v průběhu 12 měsíců (12. 1. - 28. 12. 2018). Fialový průběh ve spodní části grafu představuje rozdíl diferencí FEL Time a UTC(TP).

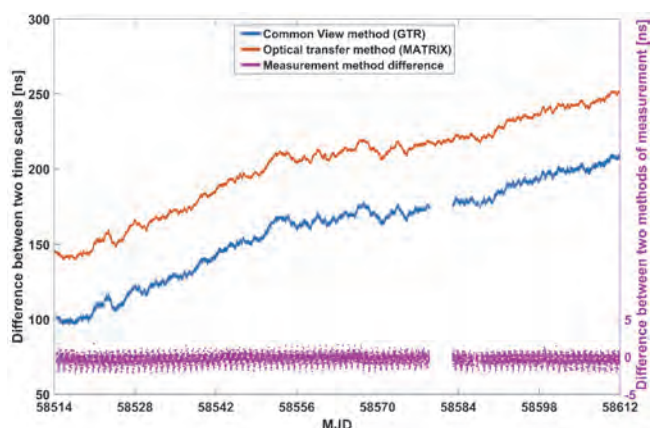


Obr. 7: Detail měření v průběhu 14 týdnů (12. 1. - 20. 4. 2018)

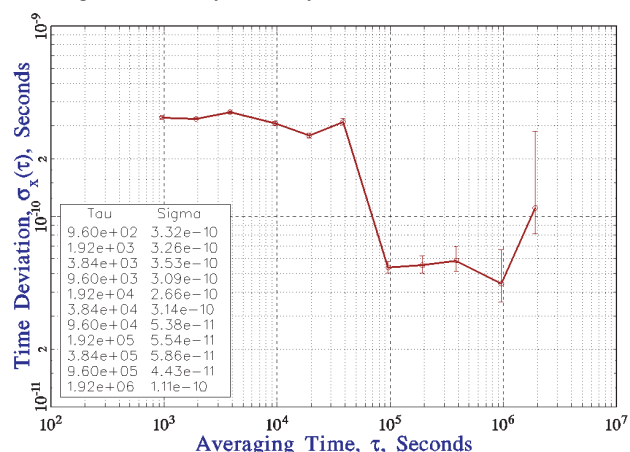
Grafy dokumentují velmi dobrou shodu časové difference stupnice FEL Time vůči UTC(TP) měřené metodou GPS *Common-View* a pomocí dvoucestného přenosu po optickém vlákně (viz grafy TDEV na obr. 8 a 10).



Obr. 8: Parametr TDEV počítaný z rozdílu časových diferencí dle obr. 6



Obr. 9: Časové difference stupnice FEL Time vůči UTC(TP) v období 31. 1. - 9. 5. 2019; stupnice FEL Time je od 10. 1. 2019 (MJD 58493) generována novými cesiovými hodinami Microsemi



Obr. 10: Parametr TDEV počítaný z rozdílu časových diferencí dle obr. 9

2.4. Výsledky měření difference časových stupnic pomocí metody přenosných hodin

V závěru roku 2018 (15. 11. 2018, MJD 58437) byla vyzkoušena „klasická“ metoda přenosných hodin. Měření probíhalo s novými cesiovými hodinami Microsemi na FEL, v ÚFE a zpět na FEL. Hodiny byly převáženy v zapnutém stavu, zálohované dvěma olovenými akumulátory 12 V/44 Ah.

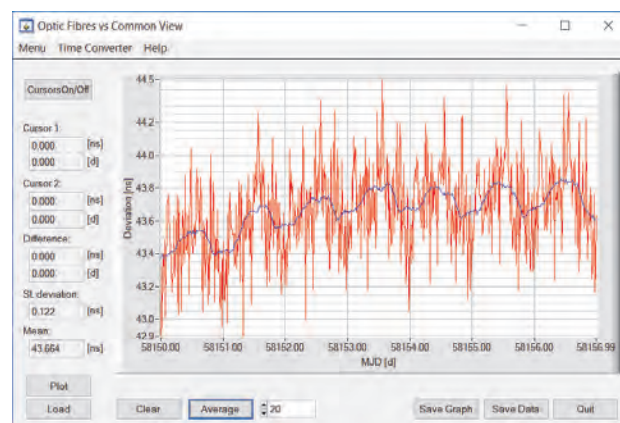
Výsledky měření jsou uvedeny v **tab. 1**.

Tab. 1: Porovnání časových stupnic pomocí tří různých metod

	optický přenos MATRIX	Common-View GTR51	metoda přenosných hodin
časová difference FEL Time – UTC(TP) v čase 11:45 UTC	155,90 ns	154,80 ns	154,70 ns
časová difference FEL Time – UTC(TP) v čase 16:26 UTC	156,20 ns	154,40 ns	155,80 ns
rozšířená nejistota měření (k = 2)	0,30 ns	1,95 ns	1,40 ns

2.5. Vývoj programového vybavení

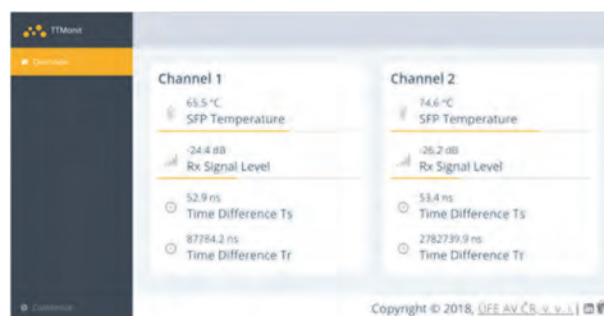
V laboratoři LPČF na FEL byla během posledních let realizována řada programů zejména pro ovládání jednotlivých přístrojů, diagnostiku systému a vyhodnocení dlouhodobých měření [9], [10]. Grafické rozhraní jednoho z programů je zobrazeno na **obr. 11**.



Obr. 11: Ukázka grafického rozhraní SW pro vyhodnocení dlouhodobých měření časových diferencí vysoce přesných etalonů času

Do plného provozu byl v roce 2017 uveden databázový systém, který archivuje výsledky měření jak pomocí systému MATRIX, tak pomocí přijímačů GTR-51. Systém umožňuje rychlé porovnávání rozsáhlých datových souborů, které obsahují data naměřená v období řádově měsíců až roků [11].

SW pro diagnostiku optoelektronických modulů MATRIX byl navržen na pracovišti LSEČF (**obr. 12**).



Obr. 12: Screenshot webové aplikace pro diagnostiku modulů MATRIX

Závěr

Časový transfer mezi Laboratoří přesného času a frekvence FEL ČVUT a Laboratoří Státního etalonu času a frekvence po optickém vlákně významným způsobem zlepšil dosažitelnou přesnost porovnání stupnic FEL Time a UTC(TP).

Časová stupnice FEL Time je od 10. 1. 2019 (MJD 58493) generována novými cesiovými hodinami Microsemi (MICROSEMI 5071A HIGH PERFORMANCE TUBE). Výsledky porovnání jsou odesílány do BIPM (clock code = 1353519) a po šesti měsících by se měly objevit v cirkuláři BIPM.

Díky spolupráci tří významných výzkumných subjektů (ÚFE AV, FEL ČVUT a CESNET) se LPČF FEL postupně stává nezanedbatelným prvkem metrologického systému ČR. Cesiumové hodiny v LPČF budou zahrnuty do skupinového etalonu Laboratoře SEČF, který umožní realizaci kompozitní časové stupnice na základě kvantových zdrojů času a frekvence dostupných v ČR.

Optická trasa FEL ČVUT – ÚFE AV byla realizována a dále rozvíjena v rámci řešení projektů PRM 2017 až 2018 (úkoly č. VIII/1/17 Navázání časové stupnice FEL Time na UTC(TP) pomocí optického přenosu a č. VIII/1/18 Zlepšení přesnosti kalibrace systémů přenosu času na nesymetrických optických trasách).

V průběhu řešení uvedených projektů probíhala kontinuální měření časové diference časových stupnic FEL Time a UTC(TP) s využitím metody GPS *Common-View* (od ledna 2017) a pomocí dvoucestného přenosu po optickém vlákně (od července 2017). Ve druhé polovině roku 2018 byla měření ovlivněna laborováním s přijímači GTR51 a změnami v cestě signálu od GNSS antény ke vstupům přijímačů (zejména se jednalo o použití rozbočovače pro současné připojení dvou GNSS přijímačů ke společné anténě kvůli měření nových cesiových hodin, změny v kabelovém připojení antén, recalibrace přijímačů GTR a update jejich SW).

Metoda určení asymetrie zpoždění použitých optoelektronických adaptérů MATRIX byla aplikována v srpnu 2018 v Laboratoři SEČF. Pomocí této metody byla určena průměrná hodnota asymetrie zpoždění adaptérů a stanovena nejistota této asymetrie.

V roce 2018 proběhla řada klíčových testů optické přenosové trasy pro časový transfer mezi Laboratoří přesného času a frekvence na FEL ČVUT a Laboratoří SEČF v ÚFE Akademie věd. Velmi důležitý byl test pro určení asymetrie zpoždění přenosové trasy způsobené chromatickou disperzí. Na základě praktických experimentů a teoretické analýzy byla určena výsledná asymetrie trasy zahrnující obě dílčí asymetrie, stanoveny nejistoty dílčích veličin a výsledná kombinovaná standardní nejistota časového transferu kompletní trasy. Rozšířená nejistota vychází $u = 0,30$ ns ($k = 2$).

Přesnou kalibrací prošel systém porovnání časových stupnic metodou *Common-View* s využitím přijímačů GTR51. Hlavní přijímač byl kalibrován přímo v LSEČF. Celý systém byl rekonfigurován tak, aby mohly být měřeny dvoje cesiové hodiny. Byly změřeny všechny použité kabely a stanoveno jejich zpoždění. U kompletního recalibrovaného systému byla podle metodiky LSEČF stanovena kombinovaná standardní nejistota. V tomto případě vychází rozšířená nejistota $u = 1,95$ ns ($k = 2$).

K ověření přesnosti metod porovnání pomocí optického přenosu (adaptéry MATRIX) a *Common-View* (přijímače GTR51) byla použita metoda přenosných hodin (na měření byly krátkodobě nasazeny nové cesiové hodiny Microsemi 5071A). Výsledky ukazují hranice dosažitelné přesnosti jednotlivých metod (viz **tab. 1**).

V další etapě výzkumu bude pozornost našeho výzkumného týmu zaměřena na implementaci a ověření metrologických vlastností technologie White Rabbit a její porovnání se stávající technologií založenou na využití adaptérů MATRIX.

Odkazy

- [1] Vojtěch, J. et al.: Joint accurate time and stable frequency distribution infrastructure sharing fiber footprint with research network, *Optical Engineering* 56(2), 027101 (February 2017).
- [2] Smotlacha, V. – Kuna, A.: Two-way optical time and frequency transfer between IPE and BEV, 2012, In *Proceedings of 26th European Frequency and Time Forum 2012 (EFTF)*, Gothenburg, Sweden, p. 375 – 378, April 2012, ISBN: 978-1-4673-1924-9.
- [3] Roztočil, J.: Navázání časové stupnice FEL Time na UTC(TP) pomocí optického přenosu. Zpráva k závěrečné oponentuře úkolu PRM 2017 č. VIII/1/17. ČVUT FEL, Praha 2017. RIV/68407700:21230/17:00318796.
- [4] Smotlacha, V. - Vojtěch, J. – Kuna, A.: Optical Infrastructure for Time and Frequency Transfer, 2013, In *Proceedings of European Frequency and Time Forum & International Frequency Control Symposium (EFTF/IFC)*, Prague, Czech republic, p. 481-484, July 2013, ISBN: 978-1-4799-0342-9
- [5] Vojtěch, J. – Smotlacha, V. - Škoda, P.: Simultaneous transmission of accurate time in parallel with stable optical frequency in real fibre network over 612 km. *2015 Optoelectronics Global Conference (OGC)*, Shenzhen, 2015, pp. 1-3. doi: 10.1109/OGC.2015.7336835.
- [6] Hedekvist, P. O. - Ebenhag, S. C.: Time and Frequency Transfer in Optical Fibers. In *Recent Progress in Optical Fiber Research*. InTech, Rijeka 2012, p. 371-386, ISBN 978-953-307-823-6.
- [7] Ebenhag, S. C.: Frequency Transfer Techniques and Applications in Fiber Optic Communication Systems. Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy. Photonics Laboratory, Department of Microtechnology and Nanoscience – MC2, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Göteborg, Sweden, 2013.
- [8] Roztočil, J.: Přenos přesného času a kmitočtu po optických vláknech. Zpráva k závěrečné oponentuře úkolu PRM 2016 č. VIII/1/16. ČVUT FEL, Praha 2016. RIV/68407700:21230/12:00201683.
- [9] Dittrich, J.: SW pro porovnávání vysoce přesných etalonů času. Diplomová práce. ČVUT FEL, Praha 2018.
- [10] Roztočil, J.: *Zlepšení přesnosti kalibrace systémů přenosu času na nesymetrických optických trasách*. Zpráva k závěrečné oponentuře úkolu PRM 2018 č. VIII/1/18. ČVUT FEL, Praha 2018. RIV/68407700:21230/18:00329286.
- [11] Vigner, V. - Roztočil, J.: *Fast Comparison of High-Precision Time Scales Using GNSS Receivers*. International Journal of Navigation and Observation. Volume 2017. ISSN 1687-5990.

STÁTNÍ ETALON VELMI MALÝCH PRŮTOKŮ KAPALIN

Ing. Miroslava Benková, Ph.D.

Český metrologický institut

Abstrakt

Článek uvádí popis etalonu velmi malých průtoků kapalin v rozsahu (10 až 6000) ml/h. Tento etalon byl v minulých letech plně adaptován na požadované podmínky, byl úspěšně mezinárodně porovnán v rámci projektu EURAMET č. 1379 a prohlášen v roce 2018 za státní etalon ČR.

Etalon byl zřízen k zabezpečení přenosu jednotky velmi malých průtoků (l/s) a velmi malých proteklých množství (L) na pracovní etalony nižších řádů a na pracovní měřidla v ČR.

Klíčová slova

Průtok, mikroprůtok, kapalina, voda, návaznost, porovnání

1 Obecně

Měření velmi malých průtoků kapalin, tj. méně než 6 l/h se stává v posledních letech velmi aktuální. Zatímco dosud jsme se mohli setkat s požadavkem na tato měření v malých množstvích aplikací - například u chromatografií, tyto požadavky se rozšiřují i do dalších oblastí. Příkladem jsou chemicko - analytické oblasti, aplikace v petrochemickém, potravinářském nebo farmaceutickém průmyslu. Co se týče zdravotnictví, požadavkem je kontinuální a přesné mikrodávkování léčiv z mnoha důvodů, zejména však z hlediska šetrnosti k pacientům.

Pro měření v oblasti velmi malých průtoků kapalin se používají většinou měřicí systémy na teplotním principu, ale vyžaduje se i použití dalších principů. Miniaturizace měřidel a tím i měřeného množství dále umožňuje například analýzu velmi malého a někdy i drahého nebo vzácného vzorku. Zároveň čas měření je mnohem kratší než u konvenčních měřidel a je možné provádět potřebné analýzy rychleji. V oblasti zdravotnictví můžeme hovořit také o velkém významu, co se týče dávkovaného množství a tím možnosti snížení negativních účinků působící dávky.

Podle použití v průmyslu se vlastnosti kapalin značně liší v závislosti na jejich využití. Kapaliny může být i jedovatá, hořlavá, radioaktivní, výbušná, jednosložková jako je čistá voda, nebo vícesložková jako je například petrolej. Teplota kapaliny jakož i rozsah se také liší. A právě z důvodu těchto vlastností byla vyvinuta poměrně rozsáhlá škála měřicích principů. Některé z nich mají široké uplatnění, můžeme však říci, že neexistuje jeden průtokoměr použitelný pro všechny aplikace. Z dostupných zdrojů lze zjistit, že kromě měřidel statického objemu jako jsou mikropipety, se využívají zejména měřidla pracující na teplotním, plovákovém, rychlostním, coriolisovém, elektromagnetickém nebo ultrazvukovém principu. Mnohé z uváděných principů se využívají běžně i při měření vyšších průtoků.

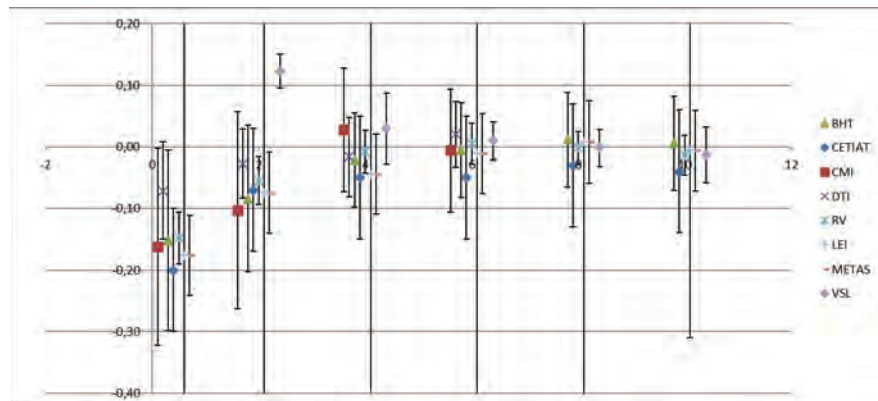
Zajištění metrologické návaznosti v tomto oboru měření s dostatečně nízkou nejistotou měření srovnatelnou se špičkovými laboratorii v zahraničí je tedy v zájmu široké veřejnosti v ČR.

Státní etalon velmi malých průtoků kapalin byl zřízen k zabezpečení přenosu jednotky velmi malých průtoků kapalin (l/s) a velmi malých proteklých množství kapaliny (L) na pracovní etalony nižších řádů a na pracovní měřidla v ČR. Státní etalon byl vyvinutý na základě hmotnostní metody a byl úspěšně mezinárodně porovnán. Ukončené mezinárodní porovnání EURAMET č. 1379 potvrdilo deklarované nejistoty etalonu pro velmi malé průtoky kapalin. Z hodnot stupňů ekvivalence E_n , které byly v rozsahu (0,09 až 0,038) je vidět shoda laboratoře ČMI se stanovenou referenční hodnotou.

Kromě kalibračních měřidel používaných ve výše zmíněných odvětvích umožňuje etalon ČMI vzhledem ke zvolené technologii také kalibrace dalších etalonů v ČR i v zahraničí používaných na přímou kontrolu měřidel velmi malých průtoků ve zdravotnictví a farmaceutickém průmyslu. Bohužel systém návaznosti v této oblasti není zatím pokryt legislativou s požadavkem na stanovená měřidla a tedy kalibrace se provádí hlavně na základě vnitroorganizačních předpisů. K hlavním typům měřidel, které jsou předmětem kalibrace, patří kalibrátory infuzních pump, peristaltická čerpadla, hmotnostní průtokoměry, objemové průtokoměry nebo mikro - injekční pumpy.

Při výběru principu měření se vycházelo ze zkušeností v konstrukci zařízení v oblasti větších průtoků kapalin a z konzultací s odborníky ze zahraničních metrologických institutů. (CETIAT Francie, DTI Dánsko, METAS Švýcarsko, IPQ Portugalsko).

Řešení etalonáže velmi malých průtoků (v zahraničí mini-, mikro- a nano-průtoků) kapalin probíhá také od roku 2012 v rámci projektů Evropské unie EMRP a EMPIR s názvem „Metrologie pro podání léků“, do kterého je ČMI průběžně zapojeno.



Obr. 1: Výsledky porovnání EURAMET č. 1379

2 Parametry a rozsah

Tabulka 1: Parametry státního etalonu velmi malých průtoků kapalin

Měřicí rozsah:	(10 až 6 000) g/h (10 až 6 000) ml/h
Pracovní tlak:	(140 – 340) Pa
Zkušební kapalina:	Destilovaná voda
Teplota vody:	(25 ± 5) °C
Rozšířená nejistota (CMC) – hmotnostní průtok	0,50 % pro průtok (10 až 30) g/h 0,15 % pro průtok (30 až 2000) g/h 0,20 % pro průtok (2000 až 6000) g/h
Rozšířená nejistota (CMC) – objemový průtok	0,60 % pro průtok (10 až 30) ml/h 0,20 % pro průtok (30 až 2000) ml/h 0,25 % pro průtok (2000 až 6000) ml/h

3 Vývoj a popis

Vývoj etalonu byl předmětem dizertační práce „Měření průtoku a proteklého množství kapalin v oblasti mikroprůtoků“, která byla obhájena na Slovenské technické univerzitě v Bratislavě, Slovenská republika.

Vývoj byl přizpůsoben vzhledem k analýze nejistot, z nichž byly sledovány hlavně následující dopady:

- zdroje průtoku a případného vzniku pulzací,
- přesnost měření hmotnosti,
- teplotní gradient kapaliny,
- vliv odpařování,
- efekt tvorby kapilár,
- vznik vzduchových bublin,
- tlakové změny v systému,
- délky času zkoušky,
- vliv okolitého prostředí.

Na základě analýz, teoretických znalostí a zkušeností z oblasti měření množství kapalin nad 6 l/h a z hlediska předpokládané přesnosti, stability, možností zapojení jednotlivých měřících principů a vlivu nejistoty byla zvolena jako primární metoda hmotnostní metoda s pevným startem. Pro efektivnější měření byly zavedeny jako referenční etalony průtokoměry na Coriolisově principu.

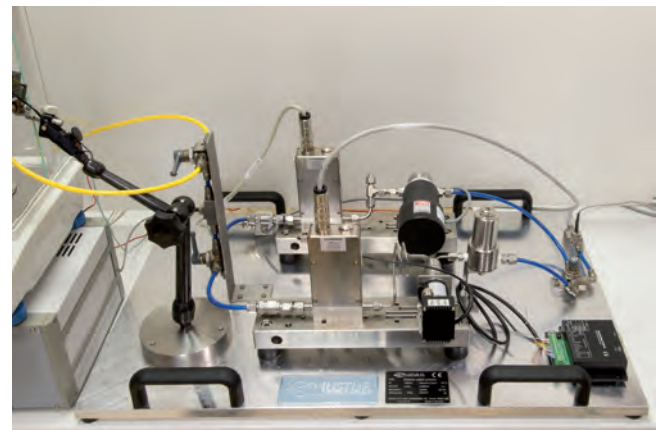
Celé experimentální měření bylo zaměřeno na dosažení co nejlepšího opakovatelnosti měření, stanovení podmínek kalibrace (zkoušené průtoky, příslušné překročené množství, vliv délky zkoušek), stanovení korekce a korekčních koeficientů a praktickou analýzu vlivu dílčích zdrojů nejistot.

Etalon je umístěn v klimatizované laboratoři průtoku kapalin a tepla v budově ČMI OI Brno.

Zdrojem průtoku jsou dvě čerpadla s rozsahem (10 až 600) g/h a (500 až 6000) g/h, které přečerpávají kapalinu z 10 l zásobní nádrže do měřících větví. Rozsah je možné regulovat na základě instalovaných hmotnostních průtokoměrů, které pracující na Coriolisově principu v prolínajícím se rozsahu průtoku (10 až 600) g/h a (500 až 6 000) g/h a zároveň plní funkci referenčních etalonů. Hlavním etalonem jsou váhy s 220/60 g váživostí s přesností 0,01 g/0,001 g. Měřicí větve jsou dále vybaveny možností pro upevnění zkoušeného měřidla, resp. měřidel. Etalon je doplněn eta-

lonovými teploměry Pt100 a tlakoměry. Ovládání etalonu je zabezpečeno pomocí PC se speciálním softwarem. Za účelem eliminace vlivu podmínek prostředí je etalon umístěn v klimatizované laboratoři s možností regulace teploty na 2 ± 2 °C.

Kalibrace se provádí přímým porovnáním proteklé hmotnosti měřidlem s hmotností na vahách, respektive s hmotností proteklou referenčními etalony, při uvažování relevantních korekcí a korekčních součinitelů. Voda se načerpává ze zásobní nádrže přes filtr a měřidlo nebo přes referenční etalony do vázicí nádoby na vahách a zpět do zásobní nádoby. Průtok je regulován pomocí kontrolních ventilů umístěných za referenčními etalony. Správná hodnota průtoku se nastává pomocí referenčních etalonů umístěných v regulačních větvích. Referenční etalony umožňují přímo snímání dat, spouštění a zastavování zkoušky se provádí přes ovládací software podle přednastaveného programu.



Obr. 2 Státní etalon velmi malých průtoků kapalin

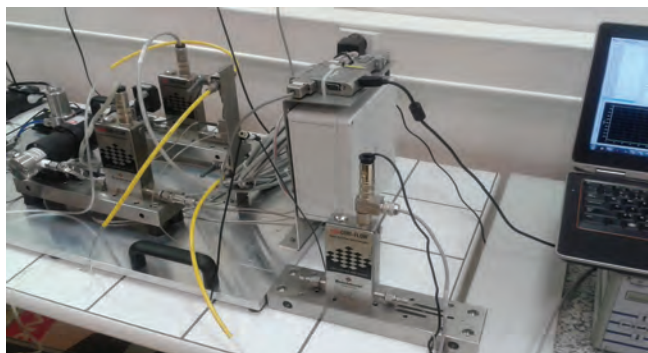
3.1 Postup kalibrace zkoušeného měřidla

Kalibrace měřidel průtoku je možné provést pomocí více metod:

- přímým porovnáním množství (hmotnostní nebo objemové) proteklého přes měřidlo s hmotností na vahách nebo
- přímým porovnáním množství (hmotnostní nebo objemové) proteklého přes měřidlo s proteklým množstvím (hmotnostní) na sekundárních etalonech (Coriolisovy průtokoměry)

- přímým porovnáním střední hodnoty průtoku (hmotnostního nebo objemového) na měřidle se střední hodnotou průtoku (hmotnostního) na sekundárních etalonech (Coriolisovy průtokoměry)

Voda se načerpává ze zásobní nádrže přes filtr přímo do hmotnostních průtokoměrů, pak přes přívodní potrubí buď do odměrné nádoby na vahách a zpět do zásobní nádoby nebo přímo zpět do zásobní nádrže. Průtok je regulován pomocí regulačního ventilu, pravá hodnota průtoku se nastavuje pomocí etalonových coriolisových průtokoměrů. Je možné použít metodu s pevným i letným startem. Teplota a tlak se měří před a za měřícím úsekem. Hodnoty v průběhu měření jsou zaznamenány pomocí softwaru.



Obr. 3: Zapojení hmotnostního průtokoměru při kalibraci

4 Závěr

Český metrologický ústav pokračuje ve vývoji metody v oblasti velmi malých průtoků kapalin, jejichž cílem je snížení nejistot a rozšíření průtoku na nižší hodnoty. Primární etalon vyvinutý na základě hmotnostní metody byl úspěšně mezinárodně porovnán a výsledky ukazují stabilitu údajů.

Při zvyšování přesnosti průtokoměrů na trhu stoupají požadavky na snížení nejistoty primárních nebo sekundárních etalonů.

V případech velmi malých průtoků, tj. pod 10 ml/h, některé kalibrace a následné vyhodnocení výsledků pomocí způsobu vážení jsou trochu komplikované a časově velice náročné. Aby bylo možné automatizovat proces kalibrace, jakož i snížit nejistotu měření a také rozšířit rozsah na nižší průtoky, byl vyvinut inovativní primární etalon s 200 ml mikropístem. Dlouhodobé zkušenosti s vývojem objemové metody se speciálním systémem posunu kapaliny v oblasti větších průtoků byly využity pro podobný typ pístového etalonu v oblasti velmi malých průtoků. V současné době probíhají práce na rozšíření rozsahu státního etalonu velmi malých průtoků kapalin od 1 g/h pomocí této metodiky a zároveň porovnání obou metodik.

Literatura

- [1] Benková M., Mikulecký I.: *Primary Standard and Traceability Chain for Microflow of Liquids*



STÁTNÍ ETALON ELEKTROLYTICKÉ KONDUKTIVITY V ROZSAHU (0,005 – 10) S·m⁻¹

Mgr. Martina Vičarová

Český metrologický institut

Slovenská technická univerzita, Strojnícka fakulta

doc. RNDr. Jiří Tesař, PhD.

Český metrologický institut

Úvod

Měření elektrolytické konduktivity (měrné vodivosti) kapalin je využíváno v řadě odvětví průmyslu. Stále důležitějším se stává zejména sledování čistoty vod (destilované, demineralizované, odpadní, případně napájecích vod v cirkulačních systémech v energetice – např. v jaderných elektrárnách). A právě konduktometrie patří mezi nejpoužívanější a nejspolehlivější metody, které se k tomuto zjišťování využívají. Měření vodivosti kapalin se dále uplatňuje ve vodárenském, potravinářském a chemickém průmyslu a v neposlední řadě také ve zdravotnictví a farmaceutickém průmyslu.

Základní teorie měření elektrolytické konduktivity

Měření elektrické vodivosti (konduktance) G roztoků elektrolytů je v principu totožné s měřením odporu R v elektrotechnice. Elektrický odpor R závisí na délce vodiče l , na jeho ploše průřezu S a na materiálu vodiče. Odpor lze vyjádřit vztahem

$$R = \rho \cdot \left(\frac{l}{S} \right)$$

kde ρ se nazývá měrný odpor nebo také rezistivita či specifický odpor vodiče, jednotkou je $\Omega \cdot m$.

Elektrická vodivost G (konduktance) je převrácená hodnota elektrického odporu R , tj. ($G = 1/R$). Jednotkou vodivosti je Siemens S ($1 \text{ S} = \Omega^{-1}$). Elektrická vodivost je definována poměrem $G = I/U$, kde I je elektrický proud protékající vodičem a U je elektrické napětí na koncích vodiče. Vodivost stejně jako elektrický odpor závisí na geometrických vlastnostech vodiče. Pro charakterizaci elektrických vlastností kapalin je tradičně používána právě měrná vodivost. Elektrolytická konduktivita kapalin je

schopnost roztoku vést elektrický proud. Velikost proudu je úměrná množství iontů přítomných ve vodivém roztoku, a tak měření konduktivity dává v mnoha případech přímou informaci o koncentraci roztoku. Ve vodných roztocích se velikost měrné konduktivity pohybuje od nejnižších hodnot u ultra čisté vody ($0,055 \mu\text{S}/\text{cm}$) až k vysokým hodnotám u koncentrovaných chemických vzorků ($200 \text{ mS}/\text{cm}$). Hodnota vodivosti elektrolytu závisí na migraci iontů přítomných v roztoku k elektrodám (na pohyblivosti iontů), dále na počtu iontů a jejich náboji, a také na teplotě roztoku. Látka, která je dobrým vodičem, má vysokou hodnotu konduktivity, špatně vodivé látky mají nízkou hodnotu konduktivity. Elektrolytická konduktivita se označuje obvykle symbolem κ (malé kappa). Jednotkou konduktivity κ je $\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$, v praxi jsou nejvíce používány jednotky $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ($1 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1} = 0,1 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$) a $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ($1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1} = 10^{-4} \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$). Konduktivitu lze vyjádřit jako převrácenou hodnotu rezistivity ρ (měrný odpor), tj. $\kappa = 1/\rho$. Některé přístroje, zejména pro měření velmi nízké vodivosti, zobrazují právě rezistivitu. Její základní jednotkou je $\Omega\cdot\text{m}$; často používanou jednotkou je $1 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm} = 10^4 \Omega\cdot\text{m}^{-1}$ odpovídající vodivosti $1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

V běžné praxi se na měření elektrolytické konduktivity používají různé typy konduktometrů, které měří odpor kapaliny mezi elektrodami vodivostní sondy ponořené do měřené kapaliny. Většina konduktometrů má možnost teplotní kompenzace, tj. dokáží přepočítat aktuální hodnotu měrné vodivosti daného roztoku na vodivost při referenční teplotě $25 \text{ }^\circ\text{C}$, případně $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Pro měření se používá střídavý proud, aby se zamezilo polarizaci elektrod. Historicky bylo měření konduktivity prováděno mezi dvěma platinovými deskami (o velikosti $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$) umístěnými 1 cm od sebe. Pokud je známá elektrická vodivost G látky, je možno konduktivitu vypočítat podle vztahu:

$$\kappa = G \cdot \left(\frac{l}{S}\right) = \left(\frac{1}{R}\right) \cdot \left(\frac{l}{S}\right)$$

kde l je vzdálenost mezi elektrodami v cm
 S je plocha desek elektrod v cm^2 .

Jak se mění rozměry cely, mění se i její konstanta $K = l/S$. V běžné cele, kde jsou platinové desky o ploše 1 cm^2 vzdálené od sebe 1 cm , je konstanta cely $1,0 \text{ cm}^{-1}$ a vodivost (udávaná v μS) je číselně shodná s konduktivitou (udávaná v $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Primární etalon

Úkolem primární metrologie elektrolytické konduktivity je zajistit jednotku elektrolytické konduktivity s návazností na jednotky SI a přenést ji na primární certifikované referenční materiály, sekundární etalon, sekundární certifikované referenční materiály, pracovní etalony a pracovní měřidla, v rozsahu $(0,0050 - 10) \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ a přesnostech podle potřeb průmyslu a ostatních uživatelů v ČR.

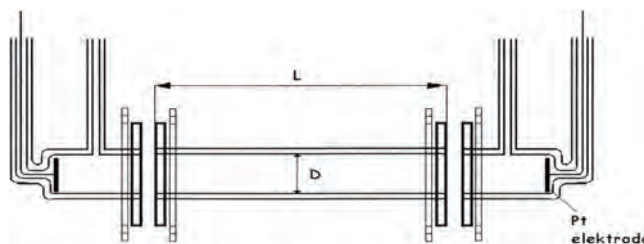
Primární etalon elektrolytické konduktivity byl budován od roku 1999. Během následujících let docházelo k postupným úpravám etalonu, které umožnily etalonu roku 2018 vyhlásit státním etalonem.

Návaznost primárního etalonu elektrolytické konduktivity na jednotky SI se uskutečňuje prostřednictvím jednotky délky a jednotky odporu.

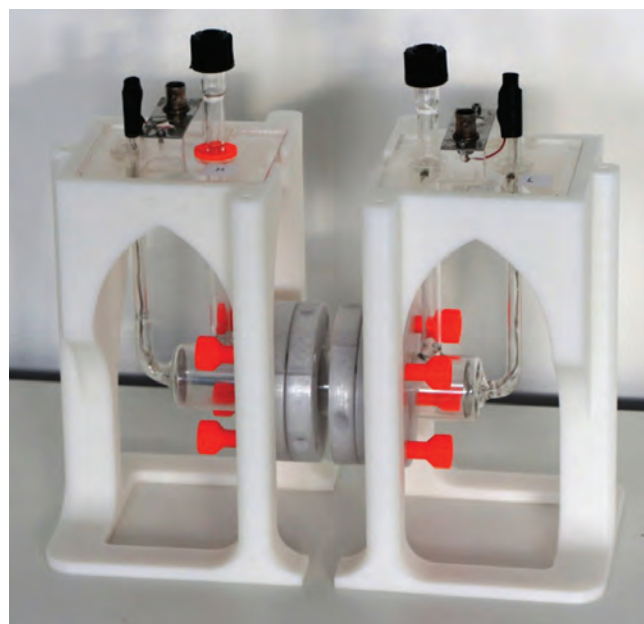
Základem primárního etalonu elektrolytické konduktivity v rozsahu $(0,005 - 10) \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ je skleněná konduktometrická cela, vyrobená v ČR – v Ústavu fyziky plazmatu AV ČR Praha, pracoviště Turnov, Vývojová optická dílna. Cela se skládá ze tří částí. Ve dvou krajních částech jsou zabudovány platinové elektrody, na které je přiváděno střídavé napětí. Střední část má přesně změřené délkové parametry (vnitřní průměr d a délku válce l). Na základě těchto délkových parametrů se spočítá konstanta střední části.

$$K = l/S = l/(\pi d^2/4)$$

kde l je délka střední části primární cely, kalibrovaná, m
 S je plocha průřezu střední části primární cely, m^2
 d je průměr střední části primární cely, kalibrovaný, m



Obr. 1: Primární konduktometrická cela, schematický náčrt.



Obr. 2: Primární konduktometrická cela, reálné provedení.

Princip etalonu je založen na měření impedance referenčních materiálů o různých koncentracích chloridu draselného ve dvou pozicích – měření se střední částí a měření stejného roztoku bez střední části. Elektrolytická konduktivita se vypočítá z rozdílů impedancí ($Z_2 - Z_1$), které jsou měřeny v těchto dvou pozicích článku a z poměru délky střední části cely k její ploše (konstanta cely K). Parazitní jevy vznikající na

platinových elektrodách se takto eliminují, neboť přispívají stejnou měrou k vodivosti článku se střední částí i bez ní.

$$R_0 = Z_2 - Z_1 = \Delta Z$$

$$K = l/S$$

$$\kappa = K/R_0$$

kde κ je elektrolytická konduktivita, $S \cdot m^{-1}$

ΔZ je změna impedance odpovídající změně délky článku $\Delta l, \Omega$

K je konstanta vodivostního článku, m^{-1}

R_0 je odpor sloupce elektrolytu délky l, Ω

Měření elektrolytické konduktivity probíhala nejdříve v olejové lázni Hart Scientific 7012 s termostatem s regulací teploty na $\pm 0,005 \text{ }^\circ\text{C}$. Tato lázeň byla v roce 2015 nahrazena vzdušným termostatem TB4-LT, který dosahuje výborné hodnoty stability ($\pm 0,005 \text{ }^\circ\text{C}$) a homogenity ($\pm 0,01 \text{ }^\circ\text{C}$) teploty a zároveň umožňuje rychlejší měření a snadnější manipulaci s primární celou. Odporový teploměr Pt 100 Tinsley 5187 SA a multimetr Keithley 2001 byl v roce 2015 nahrazen odporovým teploměrem Pt 25 Tinsley 5187 SA a převodníkem Anton Paar MKT 50. Další součástí primárního etalonu je přesný RLC most Agilent HP 4284A. Ke konstrukci zejména plastových nosných částí konduktometrické cely byla využita 3D tiskárna. Stojan vyrobený na 3D tiskárně na míru umožňuje snadnější montáž střední části konduktometrické cely.

Státní etalon elektrolytické konduktivity je uložen v sídle Oblastního inspektorátu Českého metrologického institutu v Brně, Okružní 31. Etalon je nepřenosný. Z hlediska bezpečnosti a zachování metrologických vlastností není dovoleno přemísťovat sestavu etalonu.



Obr. 3: Celkový pohled na sestavu státního etalonu elektrolytické konduktivity. Vlevo měřicí most Agilent, vpravo sestava konduktometrické cely ve vzdušném termostatu.

Metrologická charakteristika primárního etalonu

Rozsah měření na primárním etalonu elektrolytické konduktivity je dán hodnotou elektrolytické konduktivity primárních referenčních materiálů, které jsou měřeny na primárním etalonu při teplotě $(25,000 \pm 0,005) \text{ }^\circ\text{C}$.

Jednotka $S \cdot m^{-1}$ – uchování jednotky prostřednictvím primárních referenčních materiálů		
Elektrolytická konduktivita při střídavém elektrickém proudu	Rozsah:	(0,005 až 10) $S \cdot m^{-1}$
	Rozšířená nejistota ($k = 2$):	(1,7 až 0,1) %

Přehled a analýza mezinárodních porovnaní a kalibrací

V roce 2005 se etalon zúčastnil porovnání CCQM-K36 ($0,5 S \cdot m^{-1}$ a $0,005 S \cdot m^{-1}$) s pilotní laboratoří DFM Dánsko, v roce 2011 porovnání CCQM-K92 ($0,05 S \cdot m^{-1}$ a $20 S \cdot m^{-1}$) s pilotní laboratoří SMÚ Slovensko a v roce 2016 CCQM-K36.2016 ($0,5 S \cdot m^{-1}$ a $0,005 S \cdot m^{-1}$) s pilotní laboratoří PTB Německo.

Ve všech porovnáních etalon potvrdil deklarované nejistoty.

Další rozvoj oboru

Zvyšující se počet uživatelů měřících vodivost roztoků v oblasti nejnižších vodivostí vedl k zahájení vývoje primární cely pro tento nízký rozsah vodivosti. Při měření velmi nízkých vodivostí je třeba brát v úvahu příspěvek vodivosti rozpuštěného oxidu uhličitého, odpovídající zhruba $1 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, je-li roztok v rovnovážném kontaktu s atmosférou obsahující 0,04 % CO_2 . Nestálost a malá předvídatelnost tohoto příspěvku vede k nutnosti budovat etalon nízkých vodivostí jako průtočný. Měřená kapalina cirkuluje v uzavřeném okruhu a prochází jak primární konduktometrickou celou, tak měřicí celou kalibrovaného přístroje. V současné době probíhá mezinárodní porovnání v této oblasti.

Literatura:

- [1] OIML R56 Standard Solutions Reproducing the Conductivity of Electrolytes, 1981.
- [2] OIML R68 Calibration Methods for Conductivity Cells, 1985.
- [3] K.W. Pratt, W.F. Koch, Y.C. Wu, P.A. Berezansky, "Molality-based Primary Standards Of Electrolytic Conductivity (IUPAC Technical Report)", Pure Appl. Chem., Vol. 73, No. 11, pp. 1783–1793, 2001.
- [4] R. H. Shreiner, "Preparation and Uncertainty Calculations for the Molality-Based Primary Standards for Electrolytic Conductivity," *American Laboratory*, pp. 28 -32 (2004).
- [5] S. Seitz, A. Manzin, H.D. Jensen, P.T. Jakobsen, P. Spitzer, Traceability of electrolytic conductivity measurement to the International System of Units in the sub mS m^{-1} region and review of models of electrolytic conductivity cells, *Electrochimica Acta* 55 (2010), 6323-6331.
- [6] Interní metodika č. 616-MP-C010 Měření elektrolytické konduktivity roztoků na primárním etalonu. Brno, ČMI, 2015.

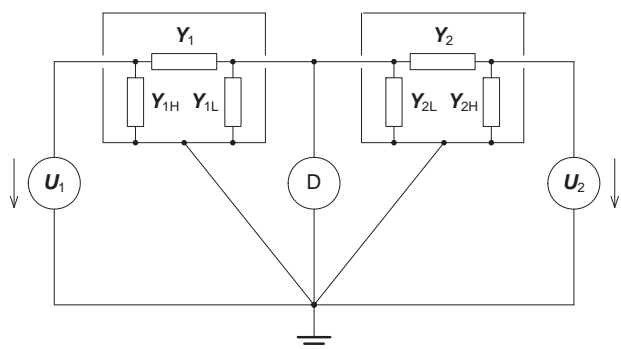
MĚŘICÍ MŮSTKY VYVAŽOVANÉ PROMĚNNÝMI NAPĚTÍMI

Prof. Ing. Jaroslav Boháček, DrSc.

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická

1. Úvod

Významnou skupinu můstek pro vzájemné navazování etalonů elektrické admittance tvoří můstky napájené několika harmonickými napětími stejného kmitočtu a vyvažované změnami minimálně jednoho z těchto napětí. Potřebná napětí mohou být dodávána vícekanalovými, příp. synchronizovanými jednocanalovými generátory, mohou však též být všechna odvozena od výstupního napětí jediného zdroje pomocí vhodných poměrových zařízení (např. poměrových transformátorů a vícedekádových indukčních děličů napětí) a vhodných obvodů pro posun fáze.



Obr. 1: Navazování třísvorkových etalonů

Jednoduché zapojení pro vzájemné navazování třísvorkových etalonů elektrické admittance je znázorněno na **obr. 1**, kde U_1 a U_2 jsou výstupní napětí dvoukanalového generátoru a D je detektor vyvážení. Navazované etalony jsou reprezentovány π -články tvořenými průchozími admittance-mi etalonů Y_1 , Y_2 a admittance-mi vůči stínění Y_{1H} , Y_{1L} , Y_{2H} a Y_{2L} . Dosáhne-li se nulového údaje detektoru D vhodným nastavením napětí U_1 nebo napětí U_2 , platí

$$U_1 Y_1 + U_2 Y_2 = 0 \quad (1)$$

a

$$\frac{U_2}{U_1} = k = -\frac{Y_1}{Y_2} = -\frac{Z_2}{Z_1} \quad (2)$$

kde $Z_1 = 1/Y_1$ a $Z_2 = 1/Y_2$ jsou impedance navazovaných etalonů. Admittance vůči stínění rovnováhu neovlivňují, protože jsou buď paralelně k některému z napětí U_1 a U_2 , nebo paralelně k detektoru D.

Navazuje-li se pomocí uvedeného můstkového zapojení např. etalon vlastní indukčnosti s impedancí

$$Z_2 = R_L + j\omega L \quad (3)$$

na etalon odporu s impedancí

$$Z_1 = R + jX_R \quad (4)$$

rovnováha nastává pro

$$k = -\frac{R_L + j\omega L}{R + jX_R} = -\frac{j\omega L \left(1 + \frac{R_L}{j\omega L}\right)}{R \left(1 + \frac{jX_R}{R}\right)} = -\frac{j\omega L(1 - j\operatorname{tg}\delta_L)}{R(1 + j\omega\tau)} \quad (5)$$

kde ω je úhlový kmitočet, τ je časová konstanta odporového etalonu a $\operatorname{tg}\delta_L$ je ztrátový činitel etalonu vlastní indukčnosti. Zpravidla je $\omega\tau \ll 1$ a $\omega\tau \ll \operatorname{tg}\delta_L$, takže

$$k \doteq -\frac{j\omega L}{R}(1 - j\operatorname{tg}\delta_L)(1 - j\omega\tau) = -\frac{j\omega L}{R}(1 - \omega\tau \operatorname{tg}\delta_L) - \frac{\omega L}{R}(\omega\tau + \operatorname{tg}\delta_L) \quad (6)$$

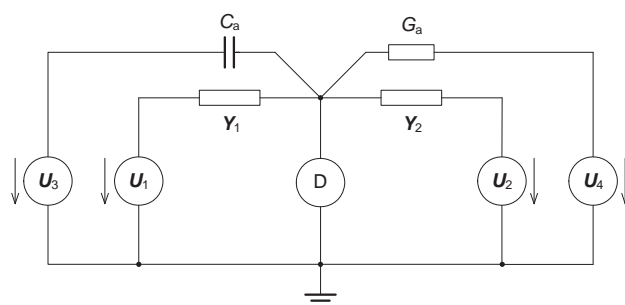
$$\operatorname{Re}[k] \doteq -\frac{\omega L}{R}(\omega\tau + \operatorname{tg}\delta_L) \doteq -\frac{\omega L}{R} \frac{R_L}{\omega L} = -\frac{R_L}{R} \quad (7)$$

$$\operatorname{Im}[k] \doteq -\frac{\omega L}{R}(1 - \omega\tau \operatorname{tg}\delta_L) \doteq -\frac{\omega L}{R} \quad (8)$$

a

$$\operatorname{tg}\varphi_k = \frac{\operatorname{Im}[k]}{\operatorname{Re}[k]} \doteq \frac{\omega L}{R_L} = \frac{1}{\operatorname{tg}\delta_L} = Q_L \quad (9)$$

kde Q_L je činitel jakosti etalonu indukčnosti.



Obr. 2: Můstek pro vzájemné navazování třísvorkových etalonů s modifikovaným vyvažováním

V můstku s modifikovaným vyvažováním podle **obr. 2** [1] se vyváženého stavu dosahuje vhodným nastavením čtyř napětí, pro která platí

$$\begin{aligned} U_2 &= k U_1 \\ U_3 &= m U_1 \\ a \\ U_4 &= n U_1 \end{aligned} \quad (10)$$

Na rozdíl od k jsou m a n reálná čísla, tj. napětí U_3 , příp. U_4 je buď ve fázi s napětím U_1 (je-li m , příp. n kladné), nebo v protifázi k tomuto napětí (je-li m , příp. n záporné). Admittance vůči stínění, které neovlivňují rovnováhu můstku, nejsou v **obr. 2** pro jednoduchost vyznačeny.

Rovnováha můstku nastává pro

$$U_1 Y_1 + U_2 Y_2 + U_3 j\omega C_a + U_4 G_a = 0$$

$$= U_1 Y_1 + U_2 Y_2 + mU_1 j\omega C_a + nU_1 G_a = 0 \quad (11)$$

tj. pro

$$\frac{U_2}{U_1} = k = -\frac{Y_1 + nG_a + j\omega mC_a}{Y_2} \quad (12)$$

Pokud se v zapojení podle **obr. 2** navazuje např. etalon kapacity na etalon odporu, platí

$$Y_1 = G + jB = G(1 - j\omega\tau) \quad (13)$$

a

$$Y_2 = G_C + j\omega C = j\omega C(1 - j\text{tg}\delta_C) \quad (14)$$

kde G a B je vodivost a susceptance v paralelním náhradním schématu etalonu odporu, G_C a C je vodivost a kapacita v paralelním náhradním schématu etalonu kapacity, τ je časová konstanta etalonu odporu a $\text{tg}\delta_C$ je ztrátový činitel etalonu kapacity. Vztah (12) dostává v tomto případě tvar

$$k = -\frac{G + jB + nG_a + j\omega mC_a}{G_C + j\omega C} \quad (15)$$

a pro

$$\omega\tau \ll 1, \text{tg}\delta_C \ll 1, n\frac{G_a}{G_1} \ll 1 \text{ a } \omega m\frac{C_a}{G_1} \ll 1$$

přibližně platí

$$k \doteq j\frac{G}{\omega C} \left[1 + n\frac{G_a}{G} - j\left(\omega\tau - \text{tg}\delta_C - \omega m\frac{C_a}{G}\right) \right] \quad (16)$$

Oddělením reálných a imaginárních částí dostáváme

$$\text{Re}[k] \doteq \frac{G}{\omega C} \left(\omega\tau - \text{tg}\delta_C - \omega m\frac{C_a}{G}\right) \quad (17)$$

a

$$\text{Im}[k] \doteq \frac{G}{\omega C} \left(1 + n\frac{G_a}{G}\right) \quad (18)$$

Pokud se napětí U_3 nastaví tak, že platí

$$m = \frac{G}{\omega C_a} (\omega\tau - \text{tg}\delta_C) \quad (19)$$

vychází

$$\text{Re}[k] = 0 \quad (20)$$

$$\varphi_k = \arctg \frac{\text{Im}[k]}{\text{Re}[k]} = \frac{\pi}{2} \quad (21)$$

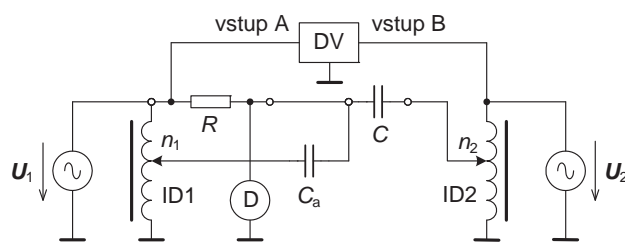
a

$$k \doteq \frac{G}{\omega C} \left(1 + n\frac{G_a}{G}\right) \quad (22)$$

Ze vztahů (17) až (22) je zřejmé, že pokud jsou napětí U_1 a U_2 vzájemně fázově posunuta o 90° (měřeno od napětí U_1 k napětí U_2), fáze všech napájecích napětí mohou v průběhu vyvažování zůstat konstantní a k vyvážení můstku stačí měnit pouze jejich amplitudy. Při výpočtu kapacity a ztrátového činitele navazovaného kapacitního etalonu se použijí vztahy (22) a (19).

Jako příklady můstků konkrétně realizovaných na katedře měření FEL ČVUT lze uvést můstek $R-C$ pro vzájemné navazování třívorkových etalonů odporu a kapacity a můstek $C-L$ pro vzájemné navazování čtyřpárových etalonů kapacity a vlastní indukčnosti.

2. R-C můstek



Obr. 3: Můstek R-C

V rámci výzkumu možností metrologického využití střídavého kvantového Hallova jevu [2], [3] byl na katedře realizován můstek podle **obr. 3** primárně určený k navazování etalonů kapacity jmenovitých hodnot 10 nF na etalony odporu jmenovitých hodnot 12 906 Ω . V můstku je použit komerčně dostupný dvoukanalový generátor (univerzální zdroj Hewlett Packard 3245A), dodávající napětí U_1 a U_2 navzájem fázově posunutá o 90° . DV je číslicový multimetr Datron Wavetek 1281, pracující v režimu měření poměru napětí, ID1, ID2 jsou osmidekádrové indukční děliče napětí NL Engineering PR1 a D je detektor vyvážení (DSP lock-in zesilovač Stanford Research Systems SR 830). Podmínky rovnováhy jsou

$$C = \frac{1}{n_2} \frac{U_1}{U_2} \frac{1}{\omega R} \quad (23)$$

a

$$\text{tg}\delta_C - \omega\tau = \omega n_1 C_a R \quad (24)$$

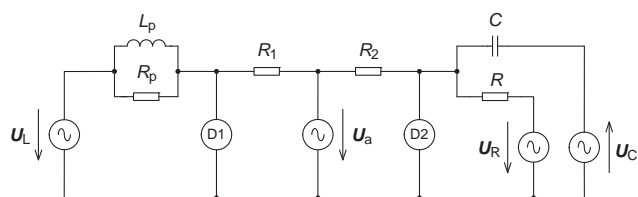
kde R a τ jsou odpor a časová konstanta odporového etalonu, C a $\text{tg } \delta_c$ jsou kapacita a ztrátový činitel kapacitního etalonu a ω je úhlový kmitočet.

Pokud se před vlastním vyvažováním můstku nastaví nominálně shodná napětí U_1 a U_2 , voltmetr DV je obě měří s přibližně stejnou nejistotou typu B a prakticky jen jeho rozlišovací schopnost určuje nejistotu typu B, se kterou pak je stanoven poměr U_1/U_2 .

Korekci vlivu zatížení děliče ID2 proudem tekoucím do navazovaného etalonu kapacity lze provést tak, že se mezi odbočku děliče a zem dodatečně připojí pomocný etalon jmenovité hodnoty 10 nF a můstek se znovu vyváží. Pokud pro dosažení prvního, příp. druhého vyvážení bylo třeba na děliči nastavit dělicí poměr n_{21} , příp. n_{22} , do vztahu (23) se při výpočtu kapacity C dosadí

$$n_2 = 2n_{21} - n_{22} \tag{25}$$

3. Můstek C-L



Obr. 4: Principiální schéma můstku C-L

Při navazování cestovního etalonu vlastní indukčnosti jmenovité hodnoty 100 mH (termostatovaný etalon General Radio 1482-L s adaptorem pro čtyřpárové připojení) na kapacitní etalon jmenovité hodnoty 1 nF (termostatovaný etalon Tettex 3320/1000/TS) v rámci projektu EUROMET 607 [4] byl použit můstek C-L, jehož principiální schéma je na obr. 4. V tomto schématu jsou L_p a R_p indukčnost a odpor v paralelním náhradním schématu etalonu indukčnosti, C je referenční kapacita, R je odpor známé hodnoty a R_1, R_2 jsou odpory poměrových ramen můstku. Nulových údajů detektorů D1 a D2 se dosáhne vhodným nastavením napětí U_L, U_C, U_R (tato napětí jsou ve fázi) a U_a (toto napětí lze vůči napětím U_L, U_C a U_R fázově posouvat). Rovnováha nastává, když

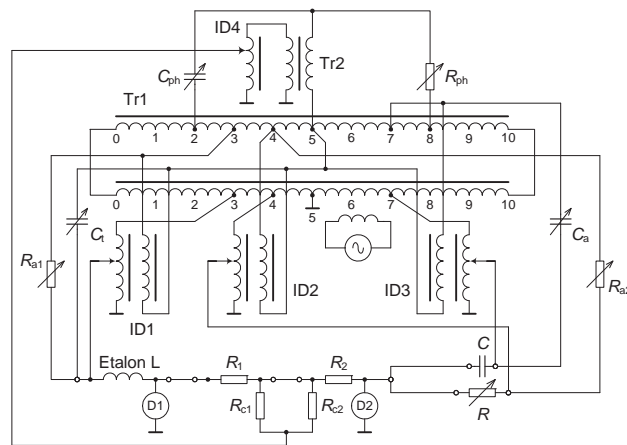
$$L_p = \frac{1}{\omega^2 C} \frac{R_1}{R_2} \frac{U_L}{U_C} \tag{26}$$

a

$$R_p = R \frac{R_1}{R_2} \frac{U_L}{U_C} \tag{27}$$

Z úplného schématu zapojení můstku na obr. 5 je patrné, že proměnná napětí U_L, U_C a U_R se odvozují z výstupního napětí napájecího generátoru pomocí přesného poměrového transformátoru Tr1 a tří vícedekádových indukčních děličů napětí s pomocným buzením ID1, ID2 a ID3. Poměrový transformátor má dvě toroidní jádra a dvě sekundární vinutí zapojená paralelně. Obě tato vinutí mají

10 sekcí a stejný počet závitů. Zatímco první z nich (vinutí pomocné) je umístěno jen na jednom jádře, druhé (vinutí poměrové) je navinuto, stejně jako vinutí primární, přes obě jádra. Obvod pro posuv fáze (prvky R_{ph} a C_{ph}) napájený z pomocného vinutí transformátoru Tr1 a následovaný vícedekádovým indukčním děličem napětí ID4 slouží jako zdroj napětí U_a . Odporová poměrová ramena můstku jsou tvořena přesnými fóliovými rezistory s odpory $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ a $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$. K přesnému změření poměru R_1/R_2 byl použit můstek R-R vyvažovaný osmidekádovými indukčními děliči napětí [5].



Obr. 5: Úplné schéma zapojení můstku C-L

Proudy odebrané z poměrových vinutí indukčních děličů ID1, ID2 a ID3 lze potlačit vhodným nastavením prvků R_{a1}, C_t, R_{a2} a C_a (indikace detektorem připojeným k sekundárnímu vinutí průvlekového detekčního transformátoru, jehož jednozávitové primární vinutí je tvořeno přívodem k odbočce děliče). Sdružovací obvod [5] tvořený rezistory R_{c1} a R_{c2} eliminuje vliv nežádoucího napěťového úbytku na spoji mezi rezistory R_1 a R_2 .

4. Závěr

Všechny prvky realizovaných můstků jsou opatřeny elektrostatickým stíněním a propojeny koaxiálními kabely. Pro větší přehlednost nejsou stínění ve schématech na obr. 3 a 5 zakreslena, pouze body k nim připojené jsou vyznačeny značkami pro uzemnění.

Jako vhodné poměrové prvky pro stavbu uvedených můstků se ukázaly osmidekádové indukční děliče napětí s pomocným buzením [5], jejichž hlavními výhodami jsou vysoká přesnost, výborná stabilita, vysoká vstupní impedance při výstupu naprázdno a nízká výstupní impedance.

Literatura

- [1] Boháček J.: Metrology. Česká technika – nakladatelství ČVUT, Praha 2013, ISBN 978-80-01-05351-5.
- [2] Boháček J., Holub J., Roztočil J., Vedral J.: A quadrature bridge for QHE-based calibration of capacitance standards. 1999 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, sv. 2, str. 1023-1026, Benátky 1999.

- [3] Boháček J.: AC QHE-based resistance and capacitance calibrations. IEE Proc.-Sci. Meas. Technol., 2000, sv. 147, č. 4, str. 190-192.
- [4] Callegaro L., D'Elia V., Boháček J.: Four-terminal-pair inductance comparison between INRIM and CTU. IEEE Trans. Instr. Meas., 2009, sv. 58, č. 1, str. 87-93.

- [5] Boháček J.: Metrologie, 2. vydání. Česká technika – nakladatelství ČVUT, Praha 2017, ISBN 978-80-01-06169-5.



ZJIŠŤOVÁNÍ VNITŘNÍHO NAPĚTÍ VE SKLÁŘSKÉ PRAXI

Ing. Petr Havel

SaferGlass, Hradec Králové

1. Vznik napětí

Vnitřní napětí ve skle je způsobeno mechanickým namáháním skla. Působení mechanického namáhání mění optické vlastnosti skla a díky tomu lze vnitřní napětí zjistit, případně určit jeho velikost. Sklo bez napětí se projevuje jako opticky izotropní, tzn. ve všech směrech má stejné optické vlastnosti. Sklo mechanicky namáhané má v různých směrech odlišný index lomu a chová se tedy jako dvojlomný krystal. Vznik měřitelného dvojlomu se využívá pro stanovení velikosti vnitřního napětí pomocí různých typů polarimetrů a polariskopů.

Podle způsobu, jakým je vyvoláno, se napětí dělí na trvalé a přechodné. Příčinou trvalého vnitřního napětí je rozdílná tepelná minulost různých částí skleněného výrobku (např. příliš rychlé ochlazení v chladicím intervalu), případně rozdíl v roztažnostech dvou spojených materiálů (nehomogenity odlišného chemického složení, zátav sklo-kov, svar odlišných skel). Přechodné vnitřní napětí vzniká působením vnějších mechanických sil (ohyb, tah, tlak) nebo působením teplotního gradientu v oblasti pod spodní chladicí teplotou. Po odstranění vlivů způsobujících přechodné vnitřní napětí toto napětí mizí.

2. Určení velikosti napětí

Pro provozní účely se jen zřídka určuje skutečná hodnota vnitřního napětí (jednotka MPa), která závisí na hodnotě fotoelastické konstanty lišící se u skel různého složení, nebo přesná velikost a směry hlavních napětí. Tím se zabývá fotoelastimetrie, která určuje rozložení, charakter a velikost hlavních napětí.

V praxi se stanovuje hodnota dráhového rozdílu při průhledu stěnou (jednotka nm), která je přímo úměrná průměrné hodnotě rozdílů hlavních napětí ve všech vrstvách seřazených nad sebou ve směru průchodu světla měřeným místem a délce dráhy světla.

Po přepočtu na jednotkovou tloušťku stěny v měřeném místě pak získáme měrný dráhový rozdíl (jednotka nm/cm), který charakterizuje kvalitu vychlazení výrobku, popřípadě vhodnost dvojice sklo-kov nebo sklo-sklo pro vzájemné spojení.

Pro určení hodnoty měrného dráhového rozdílu (který je přes fotoelastickou konstantu přímo úměrný velikosti vnitřního napětí) se používá přístrojů pracujících s polarizovaným světlem.

Mechanismy vzniku polarizovaného světla ze světla přirozeného (ať již slunečního, umělého, monochromatického nebo bílého) jsou obecně známé a lze se s nimi seznámit v literatuře [1, 2]. V téže literatuře je podrobně rozpracována teorie stanovení hodnoty dráhového rozdílu pomocí dvou typů polarizačních přístrojů popsanych dále. Uvedená teorie je poměrně složitá a není předmětem tohoto článku, proto bude zmiňována pouze okrajově.

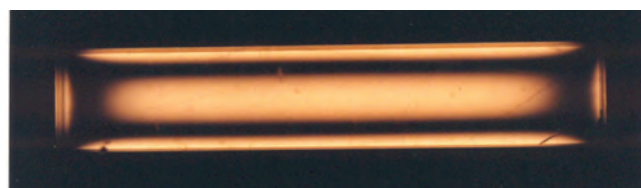
Jejím základem je rozjasnění temného pole přístroje (temné pole je realizováno většinou pomocí dvou polarizačních fólií zkřížených v úhlu 90 stupňů) při vložení dvojlomného vzorku, tzn. vzorku s napětím (**obr. 1 a 2**). Postup stanovení velikosti dráhového rozdílu (tedy rozdílu mezi dráhou řádného a mimořádného paprsku) a jeho přesnost se pak liší jednak podle typu použitého polarizačního přístroje a jednak podle velikosti zjištěného dráhového rozdílu. Pokud dráhový rozdíl přesahuje jeden řád (tj. průměrnou vlnovou délku použitého světla, **obr. 3**), postup stanovení je u obou popisovaných typů přístrojů téměř shodný a je proto souhrnně uveden v kapitole 5.

3. Typy polarizačních přístrojů převážně užívaných ve sklárnách

3.1 Polariskop

Jedním z nejběžnějších typů polarizačního přístroje je polariskop, který se skládá ze zdroje světla, dvou polarizačních fólií napevno zkřížených v úhlu 90 stupňů (polarizátoru a analyzátoru) a obvykle také z odklopné zpozdřovací destičky prvního řádu, kterou je možno vložit mezi fólie.

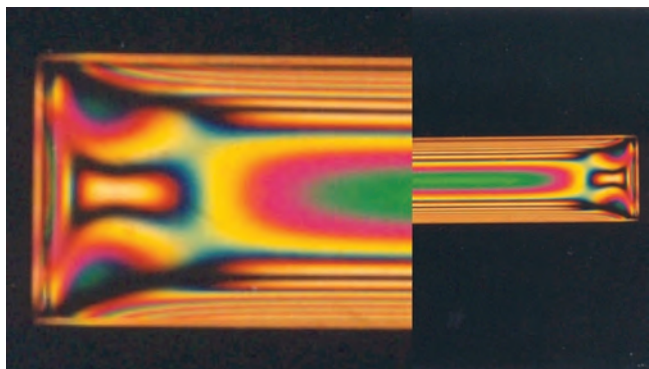
Způsoby stanovení dráhového rozdílu polariskopem jsou přibližné a jsou založeny (pokud dráhový rozdíl nepřesahuje jeden řád, tj. pro bílé světlo cca 550 nm) na odhadu přímo z intenzity rozjasnění měřeného místa nebo z interferenční barvy, na komparaci (porovnání) pomocí kotoučových komparátorů nebo na kompenzaci klínkem. Klínku lze rovněž použít ke komparaci.



Obr. 1: Vzhled hranolky s dráhovým rozdílem nižším než jeden řád v temném poli polariskopu



Obr. 2: Vzhled výrobků s dráhovým rozdílem menším než jeden řád v temném poli polariskopu (vlevo vyšší, vpravo nižší vnitřní napětí)



Obr. 3: Vzhled hranolku s dráhovým rozdílem vyšším než jeden řád v temném poli polariskopu (vlevo detail s patrnými tmavými pruhy nulového dvojlomu)

Velikost dráhového rozdílu lze přímo odhadnout z intenzity rozjasnění původně temného pole v měřeném místě, výhodnější je ale použít zpoždovací destičku prvního řádu, která převede černobílý obraz na obraz barevný (barva temného pole se mění na purpurovou). To umožňuje přesnější odhad dráhového rozdílu, protože lidské oko je k barevné změně citlivější než ke změně intenzity rozjasnění. Tabulky barevných interferenčních odstínů s odpovídajícím dráhovým rozdílem jsou uvedeny v literatuře [1, 2].

Komparace je prosté porovnání rozjasnění měřeného místa s komparátorem, což může být kruhový vzorek o známém dráhovém rozdílu anebo klínek.

Klínek je tvořen překrývajícími se plátky slídy nebo organické fólie, přičemž každá další ploška má vyšší dráhový rozdíln než předešlá. Při kompenzaci klínkem se klínek nasouvá přes měřené místo tak, aby jeho osa svírala 45 stupňů s rovinou polarizátoru. Podle jeho orientace se jeho dráhový rozdíln buď sčítá s dráhovým rozdílem vzorku (posun do purpurové I. řádu, dráhový rozdíln se získá odečtením od I. řádu) nebo se od něj odečítá (posun do temné, získá se přímo dráhový rozdíln).

3.2 Polarimetr

Dalším ve sklárnách velice rozšířeným polarizačním přístrojem je polarimetr se Sénarmontovým kompenzátorem (obr. 4).

Tento polarimetr se skládá ze zdroje světla, jedné pevné a jedné otočné polarizační fólie (polarizátoru a analyzátoru), mezi něž je vložena tzv. čtvrtvlnová destička. Obvyklou výbavou je opět odklopná zpoždovací destička prvního řádu a zelený filtr, který poskytuje přibližně monochromatické světlo.

Čtvrtvlnová destička umožňuje na základě interference světla kompenzovat dráhový rozdíln v měřeném místě. Sestava dvojlomný vzorek + čtvrtvlnová destička totiž stáčí rovinu polarizace lineárně polarizovaného světla vstupujícího do sestavy o úhel úměrný velikosti dráhového rozdíln v měřeném místě. Otočením analyzátoru o tento úhel (ze základní polohy, ve které jsou obě polarizační fólie zkríženy v úhlu 90 stupňů) dosáhneme opětovného ztemnění rozjasněného místa na původní odstín temného pole (při použití monochromatického světla) nebo na určený barevný odstín (při použití bílého světla). Úhel natočení odečtený na stupnici analyzátoru a vynásobený převodní konstantou přístroje (závisí na vlnové délce použitého světla) odpovídá velikosti dráhového rozdíln v místě kompenzace. Uvedený postup se používá, pokud dráhový rozdíln nepřesahuje jeden řád, tj. pro bílé světlo cca 550 nm.



Obr. 4: Polarimetr Schneider, Model Nr. 1115, se Sénarmontovým kompenzátorem, umožňuje měřit v bílém světle nebo v monochromatickém světle sodíkové výbojky

3.3 Automatické kontrolní systémy

V minulých letech se zejména v provozech s kontinuální výrobou (např. při výrobě plochého skla, obalového a lisovaného nápojového skla) začaly zavádět systémy kontrolující vnitřní napětí automaticky bez přímé účasti lidské obsluhy. Tyto systémy jsou většinou instalovány dodavatelem výrobní linky, který je rovněž servisuje a nastavuje, takže obsluha linky mnohdy nezná ani princip kontroly. Z tohoto důvodu nejsou uvedené systémy v článku dále zmiňovány.

4. Nejčastější problémy se stanovením napětí ve sklárnách

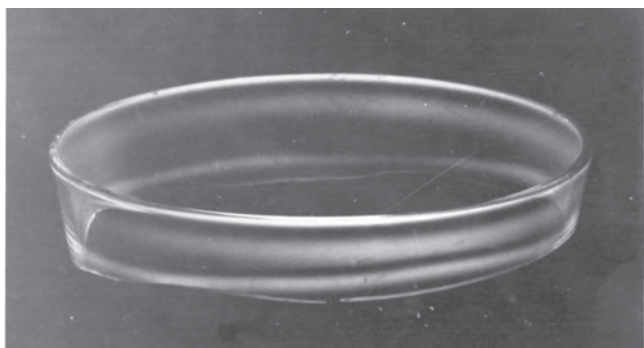
4.1 Napětí se neměří vůbec

Tento problém je specifický převážně pro malé firmy, zejména pokud netaví sklo a odebírají polotovary od jiných skláren. Tyto polotovary mohou mít zvýšené napětí již

z výroby, a pokud se zpracovávají bez sledování teploty, mohou praskat již při samotném ohřevu. Tyto polotovary rovněž nemívají definované viskozitní vlastnosti a proto je problematické správné chlazení finálních výrobků. Některé firmy spolu také kombinují skla od různých výrobců anebo skla od téhož výrobce s neznámými či odlišnými roztažnostmi a výsledkem mohou být výrobky s poměrně vysokým neodstranitelným napětím. Přitom kontrola je velmi rychlá a postačuje k ní jednoduchý polariskop.

I ve velkých sklárnách se ale setkáváme s názorem, že kontrola napětí je zbytečná, zákazník ji nepožaduje a zvýšené napětí mu nevádí. Zákazník však o této možnosti kontroly zpravidla neví a problém se začíná řešit až v okamžiku, kdy dochází k reklamaci popraskaných výrobků, ať již ze strany obchodních partnerů nebo konečného uživatele. Tato politika skláren ale v konečné fázi snižuje důvěryhodnost firmy a mnohdy bývá nákladnější než pravidelná kontrola výroby.

Na **obr. 5** je pro představu dokumentován vzhled části odlívky se zapalovaným okrajem, jejíž samovolné prasknutí bylo zapříčiněno nebezpečným napětím. Odlívka praskla charakteristickým způsobem, tzv. „kroužkováním“, kdy prasklina sleduje směr výrazného ostře ohraničeného proužku napětí.



Obr. 5: Vzhled horní části prasklé odlívky v temném poli polariskopu

4.2 Napětí se měří na neseřížených nebo nekontrolovaných přístrojích

Polarizační přístroje, stejně jako jiná zařízení, potřebují pravidelnou údržbu a kontrolu správnosti naměřených výsledků. To se týká hlavně polarimetrů, u kterých je přesnost stanovení vyšší a možnost odchylek od bezvadného stavu větší. Chyba v měření může být způsobena uvolněním šroubových spojů nebo dorazových poloh, pootočením optických prvků (polarizačních fólií, čtvrtvlnových destiček), jejich znečištěním apod.

Chybné výsledky mohou být dále způsobeny použitím nesprávné převodní konstanty přístroje K při přepočtu odečteného úhlu kompenzace na dráhový rozdíl podle vztahu:

$$\Delta = K \cdot \varphi, \text{ kde } \Delta \text{ je dráhový rozdíl a } \varphi \text{ je úhel kompenzace.}$$

Tato konstanta se liší u každého přístroje a závisí na použitém zdroji světla, zabarvení polarizačních fólií, použitím zeleném filtru atd. K určité změně převodní konstanty přístroje postačuje například jen výměna nefunkční žárovky za žárovku s jinou barevnou teplotou.

V literatuře se většinou udává hodnota této konstanty $K = 3,0 \text{ nm/stupeň}$, což však odpovídá pouze jednomu urči-

tému přístroji s určitou vlnovou délkou použitého světla. Pokud je vlnová délka světla známá (např. u přístroje se sodíkovou výbojkou), převodní konstanta se vypočte podle vztahu:

$$K = \lambda / 180^\circ, \text{ kde } \lambda \text{ je vlnová délka světla.}$$

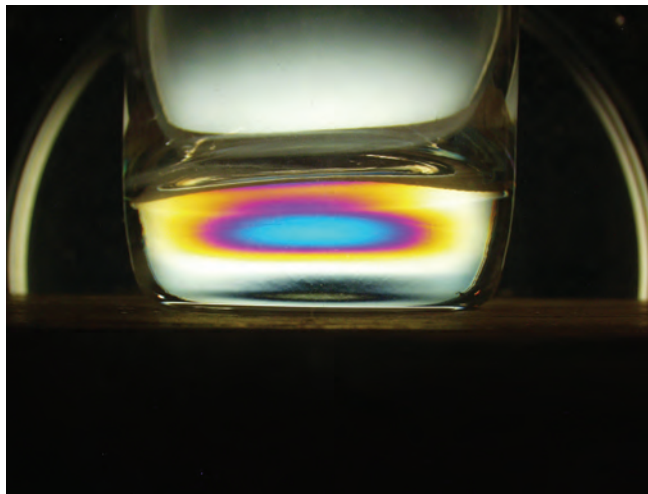
Určení správné hodnoty převodní konstanty u polarimetru s bílým světlem (a tedy neznámou „průměrnou“ vlnovou délkou) se provádí srovnávacím měřením standardu na kontrolovaném polarimetru a na polarimetru s definovanou vlnovou délkou monochromatického světla (např. polarimetru se sodíkovou výbojkou).

4.3 Napětí se měří nesprávným způsobem

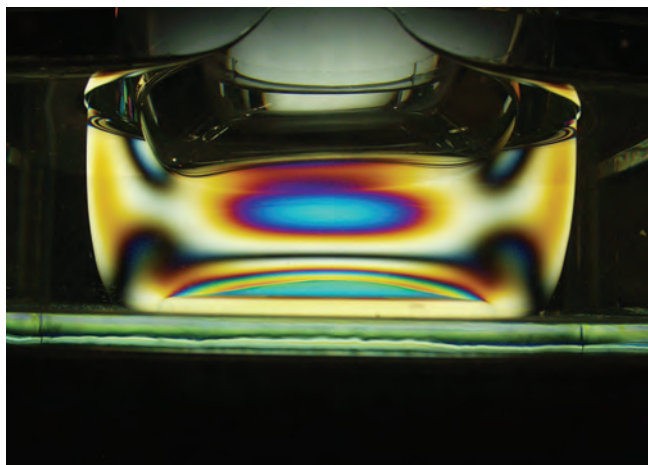
V mnoha sklárnách se napětí měří, ale měření provádí nezkušená, případně nevyškolená obsluha, jsou zanedbávány základní zásady správného měření nebo jsou chybně interpretovány naměřené výsledky. V této kapitole bude pouze uveden výčet nejčastějších chyb; zásady spolehlivého stanovení dráhového rozdílu budou shrnuty v následující kapitole.

- Měří se výrobky s přechodným napětím. To je nejčastěji způsobeno tepelným gradientem ve výrobku (výrobek nedostatečně zchladlý po vyjmutí z chladicí pece nebo naopak nedostatečně prohřátý po přinesení ze studeného skladu či zvenčí), méně často vnějšími mechanickými silami (upevnění v objímce nebo držáku, u těžkých kusů působení vlastní hmotnosti).
- Neměří se místo s maximálním měrným dráhovým rozdílem ve výrobku nebo jeho části. Měrný dráhový rozdíl závisí na délce optické dráhy paprsku vzorkem, a proto místo s maximálním dráhovým rozdílem nemusí být místem s maximálním napětím.
- Měření není správně orientováno, paprsek neprochází stěnou pokud možno kolmo. Pro maximální rozjasnění měřeného místa v temném poli je nezbytné, aby v něm směry hlavních napětí svíraly úhel 45° s polarizační rovinou polarizátoru a analyzátoru, úhel cca 90° mají svírat se směrem pozorování.
- Kompenzace je prováděna do nesprávného odstínu, případně nesprávným směrem. Při kompenzaci je nutno otáčet analyzátozem s odklopenou zpoždovací destičkou vpravo nebo vlevo tak, aby se měřené místo zatemňovalo. Temné čáry nebo plochy ohraničující toto místo se k němu při kompenzaci musí blížit. Odstín měřeného místa, při němž je dráhový rozdíl správně vykompenzován, je subjektivní a obsluha polarimetru se ho musí „naučit“.
- Měří se přes dvě a více stěn, i když to není nutné. Napětí ve všech stěnách se počítají, a pokud jsou opačného směru, výsledný měrný dráhový rozdíl je nižší než při stanovení v každé ze stěn samostatně.
- Rozložení napětí ve výrobku je opticky zkruseno tvarem výrobku. Tento jev je běžný u výrobků, jejichž tvar (nebo tvar některé jejich části) je přibližně sférický. U takovýchto výrobků je pro získání správného výsledku nutné výrobek při měření ponořit do imerzní kapaliny (**obr. 6** a **7**). Ponoření do imerzní kapaliny s indexem lomu odpovídajícím indexu lomu skla zamezí odrazu a lomu světla na povrchu měřeného výrobku, nedochází

tedy k optickému zkreslení pozorovaného obrazu. V praxi se setkáváme se situací, kdy měrný dráhový rozdíl stanovený v imerzní kapalině je dvoj- až trojnásobný oproti stejnému stanovení na vzduchu.



Obr. 6: Vzhled spodní části odlívky sférického tvaru v temném poli polariskopu bez použití imerzní kapaliny



Obr. 7: Vzhled spodní části téže odlívky v temném poli polariskopu s použitím imerzní kapaliny

- Délka optické dráhy paprsku vzorkem (tzn. tloušťka stěny) se měří v jiném místě, než ve kterém byl odečten dráhový rozdíl. To se vyskytuje opět u výrobků složitějšího tvaru nebo u výrobků se značným gradientem tloušťky.
- Při měření hodnot dráhového rozdílu vyšších než jeden řád (zapříčiněných velkým napětím nebo velkou tloušťkou stěny) není správně určen počet nebo barva interferenčních proužků, tj. řádů, případně místo s největším dráhovým rozdílem. Tento problém se projevuje zejména při kontrole rozměrných výrobků jak na polarimetru, tak na polariskopu.
- Při odhadu velikosti dráhového rozdílu pozorováním v purpurovém poli polariskopu se zpoždovací destičkou se zamění žluté adiční barvy za substrakční. Při stanovení je třeba přihlídnout k tomu, že dráhový rozdíl v měřeném místě se podle charakteru napětí (tlak, tah) a orientace

vzorku buď odečítá od dráhového rozdílu zpoždovací destičky (substrakce), anebo se k němu přičítá (adice). Tento jev je nezbytné mít na paměti a výsledky správně interpretovat. Podobně je třeba mít na paměti orientaci klínku při kompenzaci a komparaci.

- Na přístrojích s bílým světlem se měří barevné výrobky. Tím je zkreslen barevný přechod v okamžiku kompenzace, a tedy i výsledná hodnota dráhového rozdílu.

5. Zásady správného stanovení vnitřního napětí na základě praktických zkušeností a ve shodě s normou [3]

Při měření na polarimetru se Sénarmontovým kompenzátorem pozorování vždy začínáme s analyzátozem v nulové poloze stupnice, tzn. v maximálně zatemněném pozorovacím poli. U polariskopu je tato poloha dána konstrukcí přístroje.

Jednou z hlavních zásad je, že musíme správně určit místo s maximálním napětím ve výrobku. Toto místo nemusí odpovídat místu s maximálním dráhovým rozdílem, protože výsledný měrný dráhový rozdíl závisí na tloušťce stěny v měřeném místě.

Dále je nutno měřené místo orientovat tak, aby bylo ve středu pozorovacího pole a nejvíce rozjasněno. Největší rozjasnění je pozorovatelné jen při pozorování s odklopenou zpoždovací destičkou prvního řádu, se zasunutou zpoždovací destičkou a s použitím bílého světla musí mít měřené místo největší barevnou odchylku od barvy pozorovacího pole (podle tabulky změny barev při adičním nebo substrakčním skládání). V této poloze se směry hlavních napětí v měřeném místě odchyľují o 45 stupňů od polarizačních rovin polarizátoru a analyzátozem.

Další zásada říká, že pokud to tvar výrobku dovolí, stanovujeme dráhový rozdíl vždy přes jednu stěnu, pokud možno kolmo na její povrch. Při pozorování přes dvě a více stěn může docházet ke skládání vnitřních napětí opačných směrů a naměřený dráhový rozdíl může být menší, než jaký odpovídá skutečnému vnitřnímu napětí.

Výrobky s matným nebo hrubým povrchem a zejména se sférickým tvarem musíme měřit ponořené do imerzní kapaliny o stejném indexu lomu, jaký má výrobek. V některých případech (matný povrch) postačuje imerzní kapalinou navlhčit povrch. Výběr vhodných imerzních kapalin poskytuje literatura [2].

Vlastní kompenzace Sénarmontovým kompenzátorem se provádí otáčením analyzátozem s odklopenou zpoždovací destičkou vpravo nebo vlevo tak, aby se měřené místo zatemňovalo. Temné čáry nebo plochy ohraničující toto místo se k němu při kompenzaci musí blížit. Dráhový rozdíl je vykompenzován tehdy, když je měřené místo maximálně zatemněno. To platí u přístrojů, které používají monochromatické (např. sodíková výbojka) nebo přibližně monochromatické (např. zelený filtr) světlo. U přístrojů používajících bílé světlo je dráhový rozdíl vykompenzován v poloze analyzátozem, při které barva měřeného místa právě přešla z namodralé do hnědorezavé.

Určení tohoto okamžiku bývá nejobtížnější částí měření, protože každý přístroj má podle použitého zdroje světla,

zabarvení polarizačních fólií, použitého zeleného filtru atd. jiný barevný přechod. Optimálním řešením tohoto problému je použití standardu o známém dráhovém rozdílu. Postupujeme tak, že analyzátor natočíme na nominální úhel (vypočtený z nominálního dráhového rozdílu a převodní konstanty přístroje) a „naučíme“ se rozeznat barevný přechod v okolí tohoto úhlu. Reálné vzorky potom kompenzujeme do tohoto „naučeného“ barevného přechodu.

Samostatnou kapitolou jsou výrobky ze zbarveného skla, které mají též odlišný vzhled měřeného místa v okamžiku vykompenzování dráhového rozdílu. Tyto výrobky lze měřit pouze na přístrojích používajících monochromatické nebo přibližně monochromatické světlo, a to jediné pokud barevný odstín není příliš intenzivní a tloušťka výrobku příliš velká. Pokud tomu tak není, jedinou možností kontroly bezpečnosti výrobku je provedení zkoušky teplotním šokem, která se realizuje vyhřátím výrobku na určenou teplotu a následným ponořením vyhřátého výrobku do studené vody. Teplota zahřátí výrobku se stanovuje podle jeho předpokládaného použití a teplotní rozdíl se obecně pohybuje mezi 40 °C u obalového a 210 °C u varného skla.

Výše uvedený postup stanovení dráhového rozdílu předpokládá, že tento rozdíl nepřesahuje jeden řád, tzn. přibližně 550 nm (přesná hodnota závisí na převodní konstantě přístroje). Pokud je v měřeném místě dráhový rozdíl vyšší, lze v temném pozorovacím poli při odklopené zpoždovací destičce v polarimetru nebo polariskopu s bílým světlem pozorovat jeden nebo více purpurových pruhů a bezbarvý tmavý pruh nulového dvojlomu (**obr. 2**). V přístroji s monochromatickým (nebo přibližně monochromatickým) světlem se všechny pruhy jeví jako tmavé, pruh nulového dvojlomu je z nich nejtmavší.

Zjistí se místo s maximálním dvojlomem, které je odděleno největším počtem purpurových proužků od tmavého pruhu. Vzorek se orientuje tak, aby mezi tmavým pruhem a měřeným místem bylo nejvíce purpurových pruhů a jejich barvy byly nejživější. Počet těchto purpurových pruhů udává násobek základního dráhového rozdílu, tj. cca 550 nm. Dále se měřené místo kompenzuje stejným způsobem jako při dráhovém rozdílu do cca 550 nm, až se zbarví nejpurpurověji (u bílého světla) nebo nejtmavěji (u monochromatického světla).

Zjištěný dráhový rozdíl se přičte k násobku základního dráhového rozdílu určeného z počtu proužků. Postup při stanovení na polariskopu je stejný jen s tím rozdílem, že zlomky řádů se nekompensují, ale odhadují.

Velikost měrného dráhového rozdílu se vypočte z dráhového rozdílu zjištěného výše uvedenými postupy jeho vydělením délkou optické dráhy paprsku v centimetrech. Ta je pro přibližně kolmý průchod paprsku stěnou rovna tloušťce stěny.

Pouze v některých případech se zjišťuje charakter napětí, tedy jestli je tahové nebo tlakové. Tahové napětí je nebezpečné zejména v okrajích výrobků, kde může způsobit záprasky, protože pevnost skla v tahu je mnohem menší než v tlaku. Charakter napětí se určuje polarimetrem nebo polariskopem se zasunutou zpoždovací destičkou, kde lze podle barvy (modrá nebo žlutá) v určitém místě stanovit, zda je v něm tahové či tlakové napětí. O tom, která barva přísluší tahovému a která tlakovému napětí, se musíme přesvědčit pomocí proužku plochého skla, který zorientujeme stejně jako posuzovaný vzorek (směr převládajícího napětí v měřeném místě a proužku skla musí být rovnoběžný) a prohneme. V místě stlačení se pak na proužku plochého skla objeví barva odpovídající tlakovému napětí, v místě prodloužení se objeví barva odpovídající napětí tahovému. V případě, že polarimetr není zpoždovací destičkou vybaven, lze k rozlišení tahového a tlakového napětí využít směr otáčení analyzátoru při kompenzaci napětí v měřeném místě.

Závěrem je třeba zdůraznit, že pro skutečně objektivní měření vnitřního napětí je nutno pracovat s dobře seřízeným přístrojem a používat správnou hodnotu převodní konstanty. Podstatné je rovněž dostatečné proškolení obsluhy.

Poslední velmi důležitou zásadou je odstranění všech vlivů, které by mohly ve výrobku způsobit přechodné napětí. To znamená, že vzorky je třeba před měřením nechat vytemperovat na teplotu místnosti (u silnostěnných výrobků několik hodin, případně do druhého dne), při měření zabránit místnímu ohřátí od rukou (používání rukavic) a mechanickému namáhání (upnutí do objímek, držáků apod.).

6. Literatura

- [1] SCHILL, F.: Chlazení skla. Informatorium, Praha 1993.
- [2] SCHILL, F. – NOVOTNÝ, V. – HRDINA, Z.: Chlazení skla a kontrola pnutí. SNTL, Praha 1968.
- [3] ČSN 70 0534:1981 Sklo. Metoda kontroly vnitřního napětí ve skleněných výrobcích.



Česká metrologická společnost, z. s.

Novotného lávka 5, 110 00 Praha 1

tel./fax: 221 082 254

e-mail: cms-zk@csvts.cz

www.csvts.cz/cms

3. 5. 2019 se uskutečnila členská schůze České metrologické společnosti.

Byla projednána zpráva o činnosti a hospodaření. ČMS uspořádala v roce 2018 mnoho odborných vzdělávacích akcí, zmíněna byla spolupráce se Slovenskou metrologickou společností. Bylo zvoleno nové vedení. Předsedou ČMS se stal Ing. František Hnízdil, místopředsedy Ing. Václav Bursa a Ing. Josef Vojtíšek.

KALIBRAČNÍ LIST JE VIZITKA LABORATOŘE – ČÁST 3

Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.

Specifické požadavky pro kalibrační laboratoře podle normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2018

Uvádění nejistoty výsledku měření

Norma ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 (dále jen „norma“) v kap. 7.8 popisuje požadavky na kalibrační listy i protokoly o zkouškách. Norma uvádí, kromě náležitostí uvedených v kap. 7.8.2 ještě v kap. 7.8.4, že kalibrační listy musí obsahovat:

a) nejistotu výsledku měření uvedenou ve stejné jednotce jako měřená veličina nebo ve vyjádření relativním k měřené veličině (např. v procentech).

Podle *Pokynu ISO 99* je výsledek měření obecně vyjádřen jako jediná hodnota měřené veličiny, včetně jednotky měření a nejistoty měření. V kalibračních listech se často setkáváme s referenční (etalonovou) hodnotou a hodnotou naměřenou kalibrovaným přístrojem. Při kalibraci málo přesných přístrojů, kde je nejistota určena rozlišením kalibrovaného přístroje, jsou u některých laboratoří nesprávně zapisovány hodnoty etalonu. Například, kalibrujeme-li malý 3,5 místný voltmetr, můžeme naměřit pro hodnotu 1V DC výsledek $(0,999 \pm 0,000 5)$ V. Použijeme-li pro tuto kalibraci přesný kalibrátor, pak generuje kalibrátor například $1,000 000 \text{ V} \pm 0,000 005 \text{ V}$. Většina laboratoří ale neudává hodnotu generovanou kalibrátorem na počet míst podle nejistoty etalonu. To by bylo $1,000 000 \text{ V}$, ale používá zápis kratší. Uvést jen 1 V je zcela nesprávné, ale nesprávný je i zápis $1,000 \text{ V}$ na stejný počet míst jako pro měřený přístroj. Vyhovující je částečně zkrácený zápis, uvádějící jen o jedno místo více než měřený přístroj. Takový zápis je použit i ve vzoru kalibračního listu v dokumentu *Euramet cg-15* a je podrobněji probrán v další části tohoto článku. Za naměřené hodnoty se vždy připojuje poznámka, na kterou norma 17025 nemyslí. Ta byla původně pro laboratoře z Evropy v rámci Evropské akreditace uvedena v dokumentu *EAL-R2*, a zněla:

„Uvedená rozšířená nejistota je vyjádřena jako standardní nejistota vynásobená koeficientem rozšíření $k = 2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95%.“

Toto vyjádření není příliš šťastné a neukazuje dost výrazně, že prioritou je pravděpodobnost pokrytí přibližně 95 % a ne koeficient rozšíření $k = 2$. Proto byla tato Evropská formulace nahrazena celosvětovým doporučením v dokumentu *ILAC-P14:01/2013 Politika ILAC pro nejistoty při kalibraci*, kde bod 6.2 uvádí, že výsledek

měření musí obvykle zahrnovat měřenou veličinu y a příslušnou rozšířenou nejistotu U . V kalibračních listech/certifikátech se výsledek měření má uvádět ve tvaru jako $y \pm U$ s přiřazenými měřicími jednotkami pro y a U . Výsledek měření lze také uvést ve formě tabulky a v odpovídajících případech může být uvedena i relativní rozšířená nejistota $U / |y|$. V kalibračním listu se musí uvést koeficient rozšíření a pravděpodobnost pokrytí. K tomu se musí doplnit **vysvětlující poznámka**, která může mít podle ILAC následující obsah:

„Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu k , který odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %.“

Toto vyjádření by mělo být používáno nejčastěji, protože je lépe formulováno než v EA-4/02 a je i z celosvětové organizace (ILAC), kdežto EA je organizace regionální, jen pro evropskou akreditaci.

U asymetrických nejistot může být potřebné i jiné vyjádření než $y \pm U$. To platí i pro případy, kdy je nejistota určena na základě simulací Monte Carlo, nebo pomocí logaritmických jednotek.

Malá historická poznámka

Že je měření provedeno s nějakou chybou, je známo a teoreticky rozpracováno více než 300 let. Přejít od chyb k nejistotám je mnohem mladší, kolem 40 let, a snadno se prosadil, protože teorie chybového přístupu byla nejlépe zpracována v normách SSSR, který se ale v té době rozpadl, a zavládlo v Rusku období zmatků, kdy nikdo z teoretiků nediskutoval vhodnosti pojetí o chybách nebo nejistotách. Nejistoty byly zaváděny „za chodu“ praxe laboratoří a byly zaváděny direktivně. Všeobecným historickým úvodem byla celosvětová schůzka v BIPM v roce 1999. Na této akci prezentovali metrologové řadu úvah k teorii měření, ale závěrem byl schválen připravený dokument o zavádění nejistot měření a o kalibračních schopnostech národních metrologických institutů, které v databázi nazvané KCDB, od té doby spravuje BIPM.

Akreditované laboratoře v Evropě měly rozpracován dokument WECC-19 (kde WECC znamenalo zkratku pro West European Accreditation Cooperation). WECC-19 byl urychleně převeden na nejistotový princip a po přijetí východoevropských zemí do akreditačního systému byl direktivně zaveden pro nejistoty dokument EAL-R2. Ten byl doplněn příklady, obvykle podle M3003 Namas (předchůdce UKAS ve Velké Británii) a tím vznikl Doplněk 1 k EAL-R2 pro obvyklé případy měření. Mnohem obtížněji vznikl Doplněk 2 k vysvětlení méně obvyklých případů stanovení nejistot. To, že každé měření v akreditované laboratoři bude udáváno s nejistotou, bylo dáno příkazem (bez možnosti diskuse).

EA-4/02 M:2013 Vyjádření nejistoty měření při kalibraci je pro Evropskou akreditaci závazným dokumentem, vzniklým z původního označení EAL-R2 (mimo Evropu je závazný GUM). Dokument sice byl revidován a další revize probíhá, ale v doplňcích zůstalo dosud dvanáctkrát uvedené původní označení dokumentu jako EAL-R2 a šestkrát nevhodné vyjádření prioritně pro $k = 2$. To neinformovaného čtenáře mate a není to zrovna příkladem pro akreditované laboratoře, u kterých se požaduje, aby měly systém práce udržující používání všech dokumentů v platném a aktuálním znění. V rámci Evropské akreditace bylo závazně rozhodnuto, že akreditované kalibrační laboratoře musí uvádět rozšířenou nejistotu měření U , stanovenou vynásobením standardní nejistoty $u(y)$ odhadu výstupní veličiny y koeficientem rozšíření k

$$U = k \cdot u(y)$$

a uvádí se, že v případech, kdy lze usuzovat na normální (Gaussovo) rozdělení měřené veličiny, a kdy standardní nejistota odhadu výstupní veličiny je stanovena s dostatečnou spolehlivostí, je třeba použít standardní koeficient rozšíření $k = 2$. Takto stanovená rozšířená nejistota odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%. Tyto podmínky jsou splněny ve většině případů, se kterými se lze setkat při kalibracích, ale ne automaticky vždy. V doplňku 2 jsou uvedeny příklady, kdy není vhodné $k = 2$. Bohužel převážná většina laboratoří doplněk 2 nejen nikdy nevyužívá, ale asi nikdy nečetla. Při tom zahrnuje v praxi velmi častý příklad měřidel s „krátkou“ stupnicí (tím se rozumí obvykle 3,5 digitů).

Doplňek 2 k EA-4/02 uvádí formulace:

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k = 1,65$, který byl odvozen za předpokladu rovnoměrného pravděpodobnostního rozdělení pro pravděpodobnost pokrytí 95 %

a používat se má (a jen některé laboratoře ho skutečně používají) při kalibraci přístrojů s „krátkou stupnicí“, jako je u malých 3,5 digitálních multimetrů. S dalšími formulacemi, uvedenými v příloze 2 EA 4/02 se autor tohoto článku dosud v praxi neseťkal. Je to formulace v bodě S10.11.

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření koeficientu rozšíření $k = 1,83$, který byl odvozen z předpokládaného lichoběžníkového pravděpodobnostního rozdělení pro pravděpodobnost pokrytí 95 %

a v bodě S11.14,

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k = 1,81$. Koeficient rozšíření byl odvozen za předpokladu lichoběžníkového rozdělení pro pravděpodobnost pokrytí 95 %

(zde pro jiný tvar lichoběžníku než v příkladě S11)

a v bodě S12.16 je ještě:

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k = 2,28$, což pro t -rozdělení s $v_{\text{eff}} = 10$ efektivními stupni volnosti odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95 %

Popis podmínek kalibrace

Dalším význačným požadavkem normy je popis podmínek kalibrace. Norma ISO/IEC 17025:2017 uvádí v kap. 7.8.4, že kalibrační list musí obsahovat:

b) podmínky (např. podmínky prostředí), při nichž byla provedena kalibrace, které mají vliv na výsledky měření.

Pozor, podmínky zahrnují podmínky prostředí, ale nejsou to jen ony. Pro odlišení budeme dále používat označení pro základní dělení na **podmínky prostředí** a na **podmínky měření** (ale jen z hlediska potřeb měření), není uvažován celý rozsah dokumentu OIML D 11:2013 General requirements for measuring instruments -Environmental conditions.

Podle *slovníku VIM 3* jsou pracovní podmínky definovány složitěji, než bývalo v praxi zvykem; jsou zde použity následující definice:

Heslo 4.8 VIM 3: pracovní podmínka pro ustálený stav je pracovní podmínka měřidla nebo měřicího systému, při které vztah stanovený kalibrací zůstává platný i pro měřenou veličinu měnící se v čase.

Zde se obvykle používá zkrácené označení pracovní podmínky a bývá to pro elektronické přístroje hlavně teplota od 5 °C do 40 °C. V tomto rozsahu teploty musí přístroj pracovat, ale specifikace může být rozšířena doplňujícími údaji, zhoršujícími vlastnosti proti referenčním podmínkám.

Heslo 4.9 (5.5) VIM 3 stanovená pracovní podmínka je pracovní podmínka, která musí být splněna během měření k zajištění, aby měřidlo nebo měřicí systém pracovaly tak, jak byly navrženy.

Stanovené pracovní podmínky obecně specifikují intervaly hodnot pro veličinu, která je měřena a pro jakoukoliv ovlivňující veličinu.

Běžná praxe nerozlišuje pracovní podmínky podle bodu 4.8 od podmínek podle bodu 4.9

Heslo 4.10 (5.6) VIM 3 mezní pracovní podmínka je extrémní pracovní podmínka, která musí měřidlo nebo měřicí systém odolat bez poškození a bez degradace specifikovaných metrologických vlastností, pokud jsou následně použity při jejich stanovených pracovních podmínkách. Mezní podmínky pro skladování, přepravu a používání se mohou lišit. Mezní podmínky mohou zahrnovat mezní hodnoty veličiny, která je měřena a jakékoliv ovlivňující veličiny.

Nejčastěji se setkáme s mezní teplotou. Tu musí vypnuté zařízení vydržet a po uvedení zpět do rozsahu pracovních teplot musí být schopné normálně pracovat. Metrolog tuto teplotu nijak nekontroluje, pouze ji nemá rád a je dobré omezit podle možností vystavení kalibrovaného přístroje mezní teplotě co nejvíce, protože vystavení působení mezní podmínek může mít urychlující vliv na stárnutí přístroje.

Heslo 4.11 (5.7) VIM 3 referenční pracovní podmínka je referenční pracovní podmínka předepsaná pro vyhodnocování funkčnosti měřidla nebo měřicího systému nebo pro porovnávání výsledků měření. Referenční pracovní podmínky specifikují intervaly hodnot měřené veličiny a ovlivňujících veličin.

Položka 311-06-02 ve *slovníku IEV - (IEC 60050-300)*, termín „**referenční podmínky**“ odkazuje na pracovní podmínky, za kterých je specifikovaná přístrojová nejistota měření měřidla nejmenší.

Poznámka

Při vytvoření definice metru pomocí prototypu v roce 1889 bylo určeno, že se délka prototypu měří pro $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, prakticky jedinou použitelnou referenční teplotu, která byla reprodukovatelná s dostatečnou přesností, byla „teplota tání ledu“, tedy $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tato referenční teplota má však mnoho praktických nedostatků; nevyhovuje laboratorům, je nepohodlná pro člověka, je zpravidla nižší než rosný bod, což způsobuje nutnost nějak řešit kondenzaci. Dalším problémem je, že se výrobky se zpravidla vyrábějí při vyšší teplotě a pokud jsou dvě součástky, jejichž délka byla přesně změřena při teplotě $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, sestavovány při teplotě vyšší, způsobí odlišný koeficient teplotní roztažnosti materiálů, ze kterých jsou součástky vyrobeny, vzájemný rozdíl ve velikosti a součástky nemusí být možno ani sestavit. „Teplota tání ledu“ byla však v době vzniku prototypu metru jediná reprodukovatelná.

ISO 1 je mezinárodní standard ISO, který určuje jako standardní referenční teplotu pro geometrické požadavky na výrobky $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, (tj. $293,15\text{ K}$ a $68\text{ }^{\circ}\text{F}$). Kvůli teplotní roztažnosti musí být přesná měření délky prováděna při definované teplotě. ISO 1 takovou referenční teplotu standardizuje.

V Česku byl tento standard převzat jako norma ČSN EN ISO 1 (01 4110), Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Referenční teplota pro geometrické požadavky na výrobky a jejich ověřování, 2003.

ISO 1 odsoudila pracovníky kalibračních laboratoří pro geometrické veličiny, aby se museli do laboratoří více oblékat, řada národů je otužilejší a teplotu $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ v laboratoři tak nepříznivě nevnímá.

V praxi se proto začaly používat i různé jiné referenční teploty, např. $62\text{ }^{\circ}\text{F}$, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ či $21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Postupně rostly snahy o mezinárodní sjednocení referenční teploty, které vyústily ve volbu hodnoty $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, mezi jejíž výhody patří i to, že je vyjádřena celým číslem jak v Celsiově, tak Fahrenheitově stupnici.

Formálně byla referenční teplota $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ jednomyslně přijata 15. dubna 1931 na setkání Mezinárodního výboru pro míry a váhy. V roce 1951 se pak stala doporučením ISO s číslem 1.

Od té doby se sice vyskytlo několik návrhů na změnu referenční teploty, ale kvůli obrovským nákladům na provedení takové změny je nepravděpodobné, že by k nějaké úpravě u geometrických veličin došlo. V jiných oblastech měření je ale situace jiná. Elektrické veličiny nemají nějaké obecné omezení referenční teploty z praxe. Dříve používané Westonovy články a nejpřesnější etalony odporu se musely provozovat ve speciálních termostatech. Ty bývaly obvykle nastaveny na teplotu nad teplotou okolí, protože chlazení termostatu (například protékající vodou z vodovodu) bylo obtížnější a dražší. Výrobci měřicích přístrojů a v návaznosti na to i kalibrační laboratoře používali jako referenční teplotu nejprve $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, pak $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nakonec nyní $23\text{ }^{\circ}\text{C}$. K tomuto zvyšování referenční teploty docházelo bez potřeby ji přikazovat nějakými předpisy nebo normami. Zpočátku výrobci i laboratoře udávali pro referenční teplotu velmi úzkou toleranci teplot, kterou většinou nelze v laboratoři zajistit, nejčastěji $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. S rozvojem požadavků na sledování prostředí, se započtením nejistoty měření teploty a kolísáním teploty na pracovní ploše se projevil trend u výroby zajistit specifikace pro širší rozsah referenčních teplot ($23 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$), to znamená, že běžně vyhoví jakákoliv obytná místnost, kde je teplota mezi $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $28\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Podmínky prostředí

Mohou mít na výsledek měření velký vliv a to je všeobecně známé. Obvykle nejsou podmínky prostředí v kalibračních listech opomíjené. Zápis ale bývá různý, někdy natolik formální, že kalibrační listy vytváří dojem, že je laboratoř jen formálně opisuje podle zpracovaného vzoru provedení kalibračního listu.

Nejdůležitější z podmínek prostředí bývá **teplota**. Teplota v kalibrační laboratoři je pomocný ukazatel o stabilitě prostředí, ve kterém proběhlo měření.

Automatizovaný záznam teploty laboratoře ze snímače teploty podstatně zvyšuje důvěru k uvedeným údajům.

Pokud je v kalibračním listu udána teplota ($23 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$), může to vzbudit podezření, zda údaj není jen opisován podle vzoru a je-li skutečně měřen. Pokud je udáno například ($23,2 \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$), vypadá zápis důvěryhodněji, pro déletrvající měření je nejlépe popsat celý rozsah, například ($22,7\text{ až }23,1\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Zápis ($23,0 \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) je pro měření v laboratoři bez termostatu nedůvěryhodný. Zápis ve tvaru ($23 \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) je formálně špatný, naměřená hodnota 23 je udána na méně míst než nejistota. Někdy se také setkáme i s případem, že etalon je velmi málo závislý na teplotě ($23 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$), ale kalibrované měřidlo má specifikaci jen pro úzký rozsah teploty ($23 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$). Takový případ je třeba posoudit při zadávání kalibrace a zdokumentovat závěr. Pokud budeme kalibrovat v teplotním rozsahu podle etalonu ($23 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$), nelze udělat závěr plnění specifikace pro ($23 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$), ale obvykle pro celý pracovní rozsah teplot kalibrovaného měřidla, který bývá široký, například od $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, ale specifikace je horší.

Teplota prostředí, teplota etalonu a teplota kalibrovaného přístroje

Udání teploty v laboratoři v některých případech nepostačuje. Například při měření etalonů pasivních elektrických prvků, jako jsou etalony odporu, je potřebné udat co nejlépe teplotu měřeného etalonu. Často je třeba sledovat a kontrolovat u etalonu teplotu v době měření, teplotu při nastavení před měřením a srovnat i s teplotou při minulé kalibraci. Některé etalonové přístroje, jako je například multimetr 3458A, mají pro tyto účely vestavěný teploměr, výjimečně i 2 teploměry a je sledován i jejich vzájemný drift.

Monitor teploty v laboratoři by měl být s pamětí a automatickým ukládáním dat, opakování měření po cca každých 10 minut postačí.

Snímač teploty v laboratoři nemá být blízko okna nebo dveří, má být v místě s menším pohybem pracovníků, ale ne v rohu místnosti. Nesmí na něj být směřována klimatizace ani výfuky od ventilátorů výkonových zařízení v laboratoři. Sledovaná a zájmová oblast je cca od 90 cm do 150 cm nad podlahou laboratoře, nejlépe v místě kalibrovaného a etalonového měřidla.

3. Umgebungsbedingungen

Der Kalibriergegenstand befand sich während der Kalibrierung in Öl bei einer Temperatur von $(23 \pm 0,002) ^\circ\text{C}$

Obr. 1: Někdy i významná kalibrační laboratoř udělá formální nepřesnost. Teplota je zde uvedena na jiný počet míst, než příslušná nejistota

3. Environmental Conditions

The standard resistor under test was kept during the calibration in an oil-bath at temperature of $(23.000 \pm 0.002) ^\circ\text{C}$. During the measurement the air-pressure was 1016 hPa, the distance between the upper plate of the resistor and the level of the oil (silicon) was 30 mm.

Obr. 2: Stejná laboratoř jako na obr. 1, ale lépe popsané podmínky prostředí

Vlhkost

Další nejčastěji sledované parametry, které se obvykle uplatní méně, jsou vlhkost a atmosférický tlak. Vlhkost má vliv na izolační odpory a je velmi podstatná v oblasti ESD (elektrostatické odolnosti), pro jiné obory kalibrací se často uplatní až se zpožděním, protože etalony jsou obvykle konstruovány pro potlačení vlivu vlhkosti. Vlhkost se udržuje obtížněji, proto se mimo speciální měření snažíme postačit s prostředím, kde není vlhkost řízena, ale pokud je to užitečné, je sledována a monitorována podobně jako teplota. Pro elektrická vysokohomová měření a pro kalibraci přístrojů pro EMC se snažíme pracovat při nižší vlhkosti (RH do 50 %). Příliš nízká vlhkost zvyšuje možnosti elektrostatického rušení.

Atmosférický tlak

Není obvykle monitorován. Pokud je třeba, postačí měření z nejbližší meteorologické stanice. Uplatní se, celkem

neočekávatelně, při přesném měření odporu. Například v Španělsku je metrologický ústav blízko Madridu v nadmořské výšce přes 600 m a velký průmysl na úrovni moře (Barcelona), takže znát závislost hodnoty etalonu na atmosférickém tlaku je velmi vhodné.

Oslunění

Není přípustné. Laboratoř by měla mít orientována okna (pokud není bez oken) směrem k severu nebo severovýchodu.

Rušení, zemnění

Řeší se při umístění nové laboratoře, nemá být na společných elektrických rozvodech se silovými zařízeními organizace a ani ve směru nasměrování antén mobilních operátorů, které jsou v blízkosti.

Záleží hodně na požadované přesnosti měření. Autor se setkal s touto problematikou u nejpřesnějších zahraničních národních i akreditovaných laboratořích, kde nejpřesnější měření se provádí obvykle ve sklepních stíněných prostorách a vazby mezi přístroji a počítači jsou zásadně provedeny po velkém oddělení (obvykle se proto ovládací signály vedou opticky raději než elektricky). Znamé jsou příklady, jak tyto laboratoře nechtěně indikovaly průjezd vlaků nebo metra nebo lodí na Seině (BIPM, které je na kopci nad řekou), nebo kdy pro oddělení etalonů frekvence byly využity opuštěné doly a k nežádoucí vazbě mezi těmito etalony ale docházelo na dlouhých připojeních. Podobné obtíže může způsobit i vzdálená instalace antény pro příjem GPG nebo Glonass na střeše (aby anténa „viděla“ větší část oblohy) daleko od vlastního etalonu.

Prašnost, otřesy

Řeší se umístěním (přízemí nebo suterén). Pozornost je vždy třeba věnovat zaprášení a čištění filtrů klimatizace i filtrů u přístrojů. Výměna nebo čištění filtru u ventilátoru přístroje mohou ovlivnit jeho vlastnosti.

Všeobecné poznámky k podmínkám - shrnutí pro elektro veličiny

Pokud má přístroj koaxiální svorky, závisí i na provedení a čistotě konektoru. Pokud má přístroj koaxiální svorky a oddělovací konektor (connector saver), závisí kalibrace na provedení a opotřebení tohoto konektoru.

BNC konektory nejsou vhodné pro přesná a reprodukovatelná spojení.

Běžný koaxiální kabel (RG58, RG59, RG213) má nedokonalé stínění (cca 95 %).

Pro stabilní a málo často používané připojení je vhodný polotuhý (semirigid) kabel.

Detaily pro vliv teploty

Teplota uvnitř přístroje je vždy vyšší než teplota v laboratoři. Obvykle je uvnitř elektronického přístroje 38 °C nebo více.

Pokud má přístroj termostatizovanou referenci (napětí, frekvence) je teplota tohoto termostatu obvykle nastavena velmi vysoko (60 °C až 90 °C). Musí být nad rozsahem

pracovních teplot a často podle požadavků armád až kolem 90 °C.

Snížením nastavené teploty reference můžeme snížit šum a zvýšit stabilitu až o řád.

Vstupní svorky (např. DMM napájený ze sítě) jsou až o 10 °C teplejší než laboratoř.

Pokud má DMM přední a zadní vstupy, jejich vlastnosti a teplota nejsou stejné.

Zvláštní případy řešení vlivu teploty na měřený etalon, když měřený etalon se při měření neohřívá

- etalony kapacity – **etalon** můžeme umístit do pasivního termostatu (tepelně izolovat) a teplotu měřit přímo na etalonu.
- etalony indukčnosti - můžeme využít sériový odpor cívky k monitorování driftu teploty (cívka je z měděného drátu, tedy s teplotní závislostí cca 0,4%/°C).

Zvláštní případy řešení vlivu teploty na měřený etalon, když měřený etalon se při měření ohřívá

- etalony odporu je možné umístit do olejové lázně. Termostátová olejová lázeň je velmi drahé zařízení, umožňující udržet teplotu měřeného prvku v několika tisícinách °C. Měření při teplotě 23 °C zdražuje provedení lázně, která musí mít obvody chlazení. Měření při teplotě nad 23 °C, například při 27 °C, zlevňuje provedení lázně, která nemusí mít obvody chlazení, ale jiná teplota než 23 °C, není pro měření odporu typická (ale používají i některá vojenská námořnictva).
- bočníky odporu, které není možné umístit do olejové lázně; bočníky se často měřeným proudem znatelně ohřívají a tím se může snížit přesnost měření. Jednoduché chlazení řízeným proudem vzduchu vyžaduje navíc pouze ventilátor (počítačového typu, snímání teploty a řízení ventilátoru a jednoduché vedení pro směrování vzduchu).
- termočláňkové etalony AC/DC difference není možné umístit do olejové lázně; nejpřesnější měření nf střídavého signálu se dělají jako AC/DC difference při prouděch 5 mA nebo 10 mA. Takový obvod nelze plně teplotně izolovat, vzniklý výkon se musí rozptýlit. V praxi se využívají různé improvizované přepážky, obvykle z vlnité lepenky, které odstíní mlžná proudění vzduchu v laboratoři, ale umožní rozptýlit tepelný výkon při měření.
- pracoviště s kalibrátory a multimetry; je praktické pro použití, když je multimetr postaven na kalibrátoru, ale podstatně to zhorší teplotní podmínky. Tato nevýhoda převládá obvykle nad výhodami.

Referenční teplota v kalibračním listě a její specifikace – diskuse

- **Referenční teplota (23 ± 1) °C** se udávala pro měřicí přístroje i laboratoře v nejstarší minulosti akreditovaných kalibračních laboratoří u nás. Měla oporu v tehdy platných normách a zvyklostech. Když se začala podrobněji kontrolovat, zjistily laboratoře, že plnění ±1 °C nejsou schopny prokázat. (Klimatizace nastaví teplotu s nějakou tolerancí a stabilitou, homogenita prostředí není ideální,

přístroje, zvláště elektronické, často vyvíjí značné teplo, které ventilátory uvnitř přístroje vyfukují do laboratoře, svorky složitějších přístrojů jsou až o 10 °C teplejší než okolí, teplota je měřena s nějakou nejistotou). Nevýhodou teploty (23 ± 1) °C pro akreditovanou laboratoř byla jedna specifikace pro práci ve stálých prostorech a jiná pro práci mimo stálé prostory, kde obecně není možné zajistit práci v klimatizovaných prostorách a proto se používá pro práci mimo stálé prostory reálně dosažitelné (23 ± 5) °C.

- **Referenční teplota (23 ± 2) °C** - po podrobnějším posouzení dosažitelnosti přešly laboratoře většinou na teplotu (23 ± 2) °C, která je v klimatizované laboratoři reálně dosažitelná a udržitelná. Zda odpovídá referenční teplotě pro specifikaci etalonů se většinou nekontrolovalo, většinou nevyhoví. Pro práci mimo stálé prostory se používalo reálně dosažitelné (23 ± 5) °C.
- **Referenční teplota (23 ± 3) °C** - některé laboratoře se pokusily přejít na teplotu (23 ± 3) °C, která je většinou dosažitelná v běžné obytné místnosti bez klimatizace, ale nemá vždy oporu v toleranci teploty při kalibraci etalonů a není ani obvyklou referenční teplotou pro kalibrované přístroje. Snahou použít teploty (23 ± 3) °C pro akreditovanou laboratoř byla jedna specifikace, o které se laboratoře domnívaly že je dosažitelná pro práci ve stálých i mimo stálé prostory.
- **Referenční teplota (23 ± 5) °C** - je velmi velká snaha výrobců, specifikovat pro moderní přístroje a etalony širší rozsah teplot (23 ± 5) °C a mimo nejpřesnější etalony se to často daří. Umožnilo to hlavně zdokonalení foliových rezistorů a vývoj nových integrovaných obvodů (například reference LTZ 1000, která má termostát přímo na čipu). Specifikace (23 ± 5) °C ale neumožní často kalibrovat zkoušené přístroje v jejich referenční teplotě, která obvykle byla (23 ± 1) °C. ale v mnohem širších specifikacích pro pracovní teplotu. Pokud se jedná o provozní přístroje pro servis a opravy, tak to často není na závadu.
- **Referenční teplota pro práci mimo stálé prostory** - pokud laboratoř pracuje i mimo stálé prostory, je optimální, pokud se pro tyto kalibrace nepoužívají referenční etalony, ale pokud možno etalony s širší referenční teplotou, obvykle (23 ± 5) °C. Následkem je ale, že laboratoř má širší rozsah CMC, menší pro přesnější etalony ve stálé laboratoři a větší pro odolnější etalony při práci mimo stálé prostory. Tato teplota je široce dostupná v dílnách.
- **Laboratoř pro více veličin v jedné místnosti** - setkáme-li se s potřebou zajistit v jedné místnosti kalibrace například pro elektrické i pro geometrické veličiny, nastává těžko řešitelný problém. Jedna možnost je zvolit teplotu mezi oběma referenčními teplotami, ale je to vhodné a možné jen u kalibrací s malými požadavky na přesnost, například tím, že volíme teplotu mezi 20 °C a 23 °C, aby pro obě referenční teploty byla teplota v udané toleranci. Řešení časové následnosti, kdy některém časovém období se dělají veličiny s referenční teplotou 20 °C a v dalším s referenční teplotou 23 °C je také spíše teoretické, pro praxi má více nevýhod než výhod. Nejsnazší může

být nechat klimatizaci nastavenou na 20 °C a elektrické veličiny vybavit moderními přístroji se specifikovanou referenční teplotou (23 ± 5) °C, to znamená, že referenční teplota zahrnuje pásmo od (18 až 28) °C. Poslední možností je veličiny s referenční teplotou 23 °C přestěhovat do jiné, obvykle kancelářské místnosti, teplota 23 °C je u nás snáze udržitelná obvykle jen dotápěním, než teplota 20 °C, která vyžaduje častěji i klimatizaci s chlazením.

Podmínky měření

Definované a popsání podmínky měření jsou v některých případech zcela zásadní pro platnost kalibračního listu. Například, jsou-li při kalibraci použity přístroje s koaxiálními konektory typu N, musí být před měřením provedena kontrola mechanických rozměrů konektorů (a výsledek být v kalibračním listu uveden). Mimosměrné konektory ovlivní přesnost měření a v mezním případě i poškodí připojená zařízení.

Jiný příklad - při měření pasivních elektrických prvků je určující způsob připojení (dvousvorkový, třísvorkový, čtyřsvorkový anebo čtyřpárový a způsob nastavení okrajových podmínek (nula a rozpojený obvod).

Ukázkovým příkladem rozsahu podmínek měření je 8,5 dig. DMM 3458A, který je ještě po 30 letech od uvedení na trh na světové špičce, ale vyžaduje poměrně obsáhlé nastavení požadovaných parametrů, autokalibraci, rozsáhlou kontrolu teplot (při měření, při kalibraci, při autokalibraci).

Loop Resistance

Loop impedance was measured using 4 wire ohms connections between the earth pin of the 3200 loop test socket and the earth pin of the 3200 mains supply lead. The supply loop impedance was manually entered as zero and the measurement system was nulled. The recorded readings are the differences recorded from the zero value.

Obr. 3: Ukázka popisu podmínek měření u revizního přístroje

Obr. 3 ukazuje velmi vhodný a potřebný popis, jak bylo provedeno měření, protože kalibrovaný etalon Transmille 3200 neměří v tomto případě obvykle požadovanou veličinu (impedance napájecí sítě), ale jen změnu od impedance sítě v místě a době měření.

MERILNI REZULTATI

1. Dimenzije konektorja

Dimenzije konektorja so izmerjene relativno glede na referenčni konektor.

Dopustne vrednosti so povzete po MIL-C-39012.

Konektor z globino večjo od mv max lahko poškoduje vse nanj priključene konektorje.

Konektor z globino manjšo od mv min lahko poveča refleksijsko.

globina [mm]	mv min [mm]	mv max [mm]
▶ -0,216	-0,178	0,000

Obr. 4: Ukázka popisu podmínek měření u přístroje s koaxiálním konektorem typu N (slovensky)

Zápis na obr. 4 je ve velmi stručném a zjednodušeném provedení, ale podává potřebné základní informace o tom, že důležitá kontrola konektorů byla provedena a která z několika možných specifikací konektoru (závisí na výrobci) byla použita.

3. Environmental Conditions

The object calibrated was kept in the laboratory at an ambient temperature od (23,0 ± 0,2) 0C.

4. Measurement Conditions

The object was calibrated at the test frequency f = 1 kHz and and the test voltage of U = 50 V.

The capacitance values stated are the effective capacitance between the two GR 874 inner connectors, which are not connected to the housing of the object calibrated. The outer connectors are connected to the ground potential of the bridge circuit.

Obr. 5: Ukázka popisu podmínek měření u etalonu kapacity

Na obr. 5 jsou správně zřetelně odděleny podmínky prostředí v bodě 3 od podmínek měření v bodě 4. Bod 3 je trochu diskutabilní, podle autora tohoto článku je podstatnější teplota kalibrovaného etalonu C s konektory GR-874 než uvedená teplota celé laboratoře. Zda je technicky možné udržet po dobu poměrně časově náročného měření etalonu s GR-874 (které by mělo být průměrem z měření během několika dnů) teplotu laboratoře (23,0 ± 0,2) °C je také možné pochybovat.

Velmi správně je popsáno použité pospojování konektorů etalonu, protože speciálně u etalonu C s konektory GR-874 bylo zapojení konektorů netypické a provedení pospojování mohlo ovlivnit výsledek.

Podmínky měření v praxi – příklad pro DMM 3458A

Uveden je příklad pro 8,5 dig na funkci DC U. Tento přístroj je vyráběn přes 30 let a je stále moderní a světově špičkový. Uvážíme-li dobu od jeho vývoje, je (v souladu podle definice uvedené u Moorova zákona) v dnešní době cenově dostupná integrace o několik řádů vyšší než v době vývoje tohoto přístroje a tím je u novějších přístrojů po zárocích programátorů více skryté, co se v přístroji odehrává, než v uvedeném příkladě.

Příklad je uveden poněkud podrobněji, protože je to základní etalon velké části laboratoří z oboru elektrických veličin, přesto se autor s podrobným s úplným nastavením za 30 let neseťkal ani u nás, ani v zahraničí. Přitom DMM 3458A je nejznámější a nejpropracovanější, časem prověřená konstrukce DMM.

Dosažení plných možností při použití DMM 3458 vyžaduje dodržet, ale také v kalibračním listu popsat, (aby bylo měření možné případně zopakovat), řadu podmínek a nastavení. Níže popsání úkony při měření stejnosměrného napětí s DMM 3458A jsou uvedeny pro informaci, co všechno moderní přístroje umožní; v praxi se všech možnostech většinou nevyužívá, protože obsluha to nezná.

Před měřením musíme nejprve zajistit a zkontrolovat:

Doba ustálení pro přesná měření: 4 hodiny.

Vnitřní teplota přístroje musí být ± 1 °C od teploty, při které byla provedena poslední externí kalibrace.

Vnitřní teplota přístroje musí být ± 5 °C od teploty, při které bylo provedeno poslední nastavení (Ca 0, Cal 10, Cal 10k).

Teploty zjistíme povely zadanými na panelu DMM:

CAL ? 58 – teplota při DC kalibraci (ofset) (CAL 0)

CAL ? 59 – teplota při DC kalibraci (zisk) (CAL 10)

CAL ? 60 – teplota při kalibraci W (CAL 10k)

TEMP ? – vnitřní teplota v době měření.

Musí být provedena autokalibrace:

Je možné volit následující typy autokalibrace, trvající různou dobu:

CAL DCV	– trvá 2 minuty
AC	– trvá 1 minutu
OHMS	– trvá 9 minut
ALL	– trvá 12 minut

Měl by být známý DCV ofset (zbytkový údaj pro nulový vstupní signál). Proto po ustálení ručně přepínáme rozsahy a kontrolujeme, zda není překročen maximální povolený ofset.

Po ustálení ručně přepínáme rozsahy a kontrolujeme, zda není překročen maximální povolený ofset:

rozsah	vstup	limit
1	zkrat	000, 001 06 mV
2	zkrat	0,00 000 106 V
3	zkrat	00, 000 0023 V
4	zkrat	000, 000 036 V
5	zkrat	0000, 00010 V

Pozn.: Math Null v poloze Disabled!

Je-li ofset nevyhovující, volíme funkci CAL 0 a automatická kompenzace ofsetu trvá 5 minut. Pak se přístroj vrátí do režimu DCV.

Do kalibračního listu musíme popsat nastavení.

Na voltmetru nastavíme například:

zvolíme přední nebo zadní vstup,	
funkci	DCV,
rozlišení	NDIG 8,
dobu integrace	NPLC 100,

teprve po tomto všem měří DMM s nejmenší jím dosažitelnou nejistotou.

Vliv nastavení na přesnost pro funkci DC U u DMM 3485

Nejllepší schopnost měření je možné dosáhnout při zapojení funkcí přístroje a měření podle postupu uvedeného v kapitole 2.4 návodu a nastavení funkce přístroje je uvedené tabulkách v kapitole 1.10 návodu.

Pro běžná měření s nižší přesností je možné použít jednodušší nastavení. Při tom je nutné uvážit následující snížení přesnosti:

- bez MATH NULL je nutné ke specifikaci připočítat

pro rozsah	10 V	0,15 ppm
pro rozsah	1 V	0,7 ppm
pro rozsah	0,1 V	7 ppm
- bez MATH NULL a fixed range méně než 4 minuty je nutné ke specifikaci připočítat

pro rozsah	10 V	0,25 ppm
pro rozsah	1 V	1,7 ppm
pro rozsah	0,1 V	17 ppm

První dvě čtení mohou mít chybu ustálení až 1 ppm, proto se při přesnějším měření neuvažují a používá se nejdříve třetí čtení.

Zkrácení integrační doby ze 100 NPLC na 1 NPLC způsobí dodatkovou chybu asi 1ppm.

Vlastnosti na rozsahu 1000 V jsou závislé na velikosti napětí a době ustálení a nejsou zde pro úsporu délky textu podrobněji probírány.

Závěr k části 3

Uvedené podrobné údaje a poznámky byly uvedeny hlavně proto, aby si metrologové laboratoři připomněli a zákazníci uvědomili, co všechno by měla kalibrační laboratoř respektovat.

Jsou dvě úrovně požadavků na pracovníky laboratoří.

Pracovník provádějící rutinní a opakované kalibrace nemusí znát teoretické podklady a výpočty, ale musí pracovat podle odsouhlaseného postupu a musí poznat neshodnou práci.

Pracovník, který kontroluje a podepisuje kalibrační listy (proto bývá v zahraničí označován jako signátor), musí ovládat celou popisovanou problematiku.

Požadavky na majitele (nebo organizačně vedoucího pracovníka) jsou mimo rozsah tohoto článku.

Revidovaná norma ISO/IEC 17025:2017 je určena i pro informovaného zákazníka, který ví a také kontroluje údaje v kalibračním listu a stále více pracuje s riziky, zejména s rizikem, které by vzniklo falešným přijetím ve skutečnosti nesprávného kalibrovaného přístroje.

V dnešní době elektronizace celého života se stávají i měřidla ve všech oborech měření stále více elektronizovaná a zákazník potřebuje stále více dokonale popsané měření, uvedené v kalibračním listě.

Literatura

Použity byly v době psaní platné dokumenty:

- [1] EA-4/02 • *Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration*, Septembre 2013 rev 01
- [2] ILAC-G8:03/2009 *Guidelines on the Reporting of Compliance with Specification*
POZNÁMKA: Oba dokumenty jsou v roce 2019 v revizi, předpokládá se, že revize dokumentu EA-4/02 bude menší, ale revize ILAC-G8 bude podstatná.
- [3] *Kalibrační list je vizitkou laboratoře - část 1*, Horský, Metrologie 2/2019, str. 4
- [4] *Kalibrační list je vizitkou laboratoře - část 2*, Horský, Metrologie 2/2019, str. 9

SJEDNOCOVÁNÍ VÝPOČTU CMC V AKL V OBORECH TLAK – ČÁST 1

Ing. Martin Valenta

Český institut pro akreditaci, o.p.s.

1. Úvod

Postupným zaváděním změn v jednotlivých laboratořích i v důsledku vnějších vlivů a změn požadavků se v některých případech v jednotlivých laboratořích postupně vzdálily způsoby stanovení CMC nad přijatelnou, tedy zanedbatelnou míru. Předchozí článek v Metrologii č. 3/2018 se věnoval oboru měření teplot, v němž byly uvedené rozdíly vlastně impulsem k tomu, aby Český institut pro akreditaci, o.p.s. navrhl a následně zpracoval úkol programu rozvoje metrologie na téma sjednocování způsobů stanovení CMC. V letošním roce práce pokračovaly v dalších dvou oborech – statickém objemu a tlaku.

V ČR je v současné době 132 akreditovaných kalibračních laboratoří (dále i AKL), které poskytují služby v různých oborech měření. V oboru kalibrace objemu poskytuje své služby 19 laboratoří, v oboru tlaku je takových více než 40. Nějakou formou měření tlaku se dále zabývá i cca 130 akreditovaných zkušebních laboratoří, v oboru objemu je takových laboratoří bezmála 150. Tyto laboratoře nabízejí různou míru nejistoty kalibrace a obsah jejich tabulek CMC bývá nejednotný.

V uplynulém roce proto ČIA spolu s ČMI v rámci Programu rozvoje metrologie v roce 2018 přistoupil k řešení dvou samostatných úkolů, jejichž smysl a účel je shodný, jednotlivé úkoly se liší jen ve svém odborném zaměření na výše zmíněné obory měření. Tyto úkoly byly nazvány:

*VII/4/18 „Podklad pro průběžné sjednocování výpočtu CMC v akreditovaných kalibračních laboratořích v oboru objem“
VII/5/18 „Podklad pro průběžné sjednocování výpočtu CMC v akreditovaných kalibračních laboratořích v oboru tlak“*

Jejich cílem opět bylo vytvořit přehled informací, které poslouží jako vhodný obecný základ pro stanovení nejmenších udávaných nejistot, které laboratoře dávají veřejnosti k dispozici prostřednictvím svého osvědčení o akreditaci. Zákazník samozřejmě má k těmto osvědčením mít přiměřenou důvěru, že při porovnávání laboratoří jsou v tabulkách CMC uvedeny všechny informace, v nejnižší udávané nejistotě jsou zahrnuty všechny relevantní vlivy a těmto vlivům je věnována pozornost, odpovídající jejich významu a vlivu na uvedenou hodnotu nejistoty.

Jako spoluřešitel se v oboru tlak k autorovi článku připojil pracovník oddělení teploty, vlhkosti a tlaku ČMI Ing. Josef Vojtíšek, úkol v oboru statický objem za ČIA řešila Ing. Zdeňka Drdová a odbornou spoluprací přispěla Ing. Miroslava Benková, Ph.D. z oddělení primární etalonáže průtoků kapalin, rychlosti proudění a tepla ČMI.

Jak již bylo zmíněno, oba úkoly navazují na úkol PRM č. VII/5/17 a vypracovávají podklad pro sjednocení pohledu na vliv příspěvků k nejistotě měření v daných oborech tak,

aby laboratoře, zákazníci i odborní posuzovatelé měli společné vodítko, jak řešit možné situace při kalibraci.

Využití výsledků se, stejně jako u předchozího úkolu programu rozvoje metrologie, předpokládá především při posuzování akreditovaných kalibračních laboratoří vedoucími a odbornými posuzovateli. Dalšími možnými uživateli jsou

- kalibrační laboratoře, akreditované i neakreditované,
- zkušební laboratoře,
- zákazníci uvedených laboratoří a pochopitelně i
- odborná veřejnost.

Vyloučeno samozřejmě není ani využití jakýmkoli zájemci o kalibrace a měření tlaku a statického objemu obecně.

Odborná veřejnost se s obsahem a výsledky řešení obou úkolů mohla seznámit na semináři „PŘÍSTUP K CMC A VÝPOČET NEJMENŠÍCH NEJISTOT – OBOR TLAK“ a na semináři „PŘÍSTUP K CMC A VÝPOČET NEJMENŠÍCH NEJISTOT – OBOR STATICKÝ OBJEM“.

Výsledné řešení je měřítkem pro sjednocování požadavků na kalibrační laboratoře při stanovování rozpočtu nejistot, vlastní hodnoty nejnižší udávané nejistoty, a následně i CMC jako celku. Práce má také sloužit jako studijní materiál pro odborníky v obou oborech, aby se minimalizovala nejednotnost pohledu na nejistoty měření a jejich reprezentaci v podobě CMC.

2. CMC - Calibration and Measurement Capability

Od publikace předchozího článku uplynul teprve rok a za tak krátkou dobu ještě nedošlo k dostatečnému oddělování technických a obchodních argumentů, které jsou často velmi protichůdné a mnohdy jsou zaměňovány. Výsledkem je směs nesourodých požadavků na informace uvedené v příloze osvědčení o akreditaci.

2.1 Definice CMC

Definice CMC vychází z ujednání „BIPM-ILAC Joint Paper on CMC 2007“. Dalšími klíčovými dokumenty jsou *ILACP14:01/2013 „Politika ILAC pro nejistoty při kalibraci“*, *JCGM 100:2008 „Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement“* (Pokyn pro vyjadřování nejistoty měření) a *EA04/02 M:2013 „Vyjádření nejistoty měření při kalibraci“*. V akreditačním systému ČR jsou tyto dokumenty doplněny metodickým pokynem ČIA s označením *MPA 30-02-13 „Politika ČIA pro metrologickou návaznost výsledků měření“*.

Pro úplnost je nutné dodat, že vzhledem k revizi základní normy pro posuzování zkušebních a kalibračních laboratoří ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 dochází i k revizi uvedených dokumentů. V okamžiku psaní článku jsou některé z nich v mezinárodním připomínkovém procesu, proto zde vycházíme ze zatím platných verzí. Revidovaná vydání uvedených dokumentů pravděpodobně budou součástí dalších řešení úkolů programu rozvoje metrologie.

Za CMC lze de facto označit každý řádek tabulky přílohy osvědčení o akreditaci, není tedy možné pojmem CMC označovat pouze sloupec nejistoty. Jeho název byl proto upraven na *Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření*. To se promítlo do návrhu nové šablony přílohy osvědčení o akreditaci pro kalibrační laboratoře, kterou ČIA začal využívat v souvislosti s přechodem na posuzování podle revidované normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2018. Tabulka CMC pak doplněním sloupce principu měření dává základní, ale již ucelený přehled schopností dané AKL. Tlak a objem (především statický) jsou dalšími obory, ve kterých budou informace v příloze osvědčení o akreditaci sjednoceny, aby se zvýšila porovnatelnost mezi různými AKL.

2.2 Rozdíl mezi nejistotou jako součástí CMC a nejistotou měření

Nejistota je veličinou spojitou, nemůže se měnit skokově a mít tedy více než jednu hodnotu pro každý jeden bod měření. Každému měření lze přiřadit konkrétní hodnotu nejistoty, která respektuje okamžité podmínky měření a její velikost se může od deklarované hodnoty nejmenší udávané rozšířené nejistoty významně lišit. Této skutečnosti by si měl být vědom každý pracovník laboratoře i její zákazník. Množství vlivů a jejich význam se pak liší jak podle oboru, tak podle metody kalibrace a dalších faktorů.

Nejmenší udávaná rozšířená nejistota jako součást CMC je hodnotou, kterou laboratoř stanovuje na základě znalosti svých nejistot měření dosahovaných při kalibraci. Tuto nejistotu má být laboratoř schopna každému zákazníkovi nabídnout, ovšem nikde není stanoveno, že nejistota blízká se k hodnotám nejistot udávaných v rámci CMC musí být zákazníkům k dispozici za všech okolností a bez jakýchkoli podmínek, vč. obchodních. Aby laboratoř mohla oprávněně deklarovat konkrétní hodnotu udávané nejistoty, musí dokázat kdykoli provést požadovanou kalibraci s tak nízkou nejistotou, jakou dovoluje hodnota v tabulce CMC a vlastnosti kalibrovaného zařízení, nemůže ale na kalibračním listu uvést hodnotu nejistoty lepší.

2.3 CMC jako vyjádření kvality laboratoře

Každá laboratoř by měla prokázat, že je schopna dosahovat takových nejistot měření, které má uvedeny v příloze osvědčení o akreditaci. Jako důkaz lze použít úspěšnou úcast v MPZ. Při kalibracích pro zákazníka není možné, aby laboratoř dosáhla nejistoty kalibrace menší, než je hodnota nejmenší udávané nejistoty pro danou veličinu a rozsah. V řadě případů je ovlivnění kalibrace vnějšími faktory takové, že se k hodnotám nejistot uváděným v příloze osvědčení akreditace nemusí výsledná nejistota ani přiblížit.

Z výše uvedeného plyne, že v tabulce CMC jsou vzájemně provázané hodnoty parametrů, kterými laboratoř prokazuje své schopnosti, a tedy i kvalitu pro zákazníka. Za optimálních podmínek je při kalibraci schopna dosáhnout nejistot, blízkých se hodnotě udávané nejmenší rozšířené nejistoty. Tato hodnota tedy vyjadřuje nejmenší hodnotu nejistoty, s níž laboratoř dokáže zkalibrovat reálné zařízení.

Tabulka CMC tak může být velmi vhodným měřítkem k porovnání kvality laboratoří a sloužit by měla především zákazníkům, aby mohli vybrat laboratoř, která je pro ně nej-

vhodnější. Aby tomu tak bylo, musí být údaje v tabulce CMC úplně a navzájem porovnatelné. Kromě kalibrované veličiny, kalibrovaného rozsahu a hodnoty nejmenší udávané nejistoty k tomu slouží také princip kalibrace, tedy stručné vyjádření metody, která je při kalibraci používána.

Zmíněné požadavky mají jednoznačně technický charakter a racionální zdůvodnění, problematickým momentem zůstává otázka, jak rozhodnout, které vlivy jsou natolik závažné, aby se podle nich tabulka CMC členila, a které lze opomenout. Příkladem může být maximální rychlost vozidla, uváděná v technickém průkazu. Ať budete vozidlo provozovat na dálnici v zemi, kde maximální rychlost není omezena, nebo ve vysokohorském prostředí s úzkými, klikatými silničkami, nebude to mít vliv na údaj v technickém průkazu, přestože ve druhém případě se k této maximální rychlosti zřejmě nebudete schopni ani přiblížit. Je vhodné udávat maximální rychlost podle prostředí, kde bude vozidlo provozováno? A taktó lze nahlížet i na nejmenší udávanou rozšířenou nejistotu měření, udávanou v tabulce CMC.

2.4 Uvádění nejmenší udávané nejistoty pro jednotlivé podrozsahy

Požadavek ILAC P14:01/2013, že „pro daný rozsah akreditace nesmí být ve vyjádření CMC žádná nejasnost, tedy ani u nejmenší nejistoty měření, kterou může laboratoř očekávat v průběhu kalibrace nebo měření“ byl interpretován tak, že je nezbytné přesně definovat, ve kterém rozsahu leží krajní bod, který dva následující rozsahy spojuje. Společný krajní bod dvou na sebe navazujících rozsahů uvedených v tabulce CMC může mít v každém z rozsahů uvedenou jinou nejmenší udávanou rozšířenou nejistotu. Reálná nejistota měření je v takovém případě shodná pro oba rozsahy, kromě případu, kdy některou z podmínek kalibrace skokově změníme, např. změnou nastavení kalibrátoru. Vztah konkrétní nejistoty měření a nejmenší udávané nejistoty v tabulce CMC se nijak nemění, je tedy možné pracovat s tou hodnotou udávané nejistoty, která je v dané situaci pro zákazníka příznivější.

3. Obor tlak

3.1 Obecně

Technická část úkolu je zpracována pro nejběžnější kalibrace měřidel tlaku, které se objevují v předmětných akreditovaných laboratořích – kalibrace deformačních tlakoměrů, číslcových tlakoměrů (obdobně měřících řetězců tlaku) a měřících převodníků tlaku (unifikovaný výstupní signál) nebo snímačů tlaku (nízkoúrovňový výstupní signál). Pro uvedené kalibrace je předpokládáno použití následujících etalonových měřidel:

- pístové tlakoměry,
- kalibrátory tlaku, referenční digitální tlakoměry,
- převodníky tlaku a tlakové diference,
- referenční deformační tlakoměry.

Pro stanovení nejistoty kalibrace (měření) tlaku definujeme základní zdroje a složky dílčích nejistot, ze kterých je také určena měřicí schopnost laboratoře CMC. Protože metodika kalibrace tlakoměrů se liší v závislosti na očekávané přesnosti kalibrovaného měřidla, obdobným způsobem se

liší i důležitost jednotlivých složek nejistoty měření, které zahrnujeme do tabulky CMC. Pro jednotlivé metodiky je předložen návrh přístupu ke zpracování nejmenší udávané nejistoty měření laboratoře v závislosti na kalibrovaném měřidle (DUT), použitém etalonu, způsobu měření, ovlivňujících podmínkách apod. Předmětem úkolu nejsou měřidla vakua, speciální měřidla tlaku ni měřidla extrémně vysokých tlaků.

3.2 Zdroje nejistot měřidel používaných jako etalonů tlaku

3.2.1 Pístové tlakoměry

Pístové tlakoměry mají obvykle měřicí rozpětí, a tím i specifikaci přesnosti rozdělené na dvě části:

- Přesnost z odečtu platí v tzv. základním měřicím rozsahu (rozmezí od 10 % do 100 % měřicího rozpětí tlakové měřky)
- Pro hodnoty tlaku v tzv. pomocném měřicím rozsahu (pod 10 % rozsahu tlakové měřky) je údaj přesnosti konstantní a je definován jako procento z hodnoty odpovídající 10 % plného rozsahu tlakové měřky.

Při kalibraci měřidel můžeme pracovat s pístovým tlakoměrem trojím způsobem:

- V základním i pomocném měřicím rozsahu pracujeme se jmenovitými hodnotami tlaku, které jsou vyznačeny na závaží (na kalibračním listu je uvedena odpovídající nejistota nastaveného tlaku).
- V základním i pomocném měřicím rozsahu pracujeme s hodnotami tlaku, které jsou vypočteny ze skutečných hmotností závaží a efektivní plochy pístu (na kalibračním listu je opět uvedena odpovídající nejistota nastaveného tlaku).
- V základním i pomocném měřicím rozsahu pracujeme s hodnotami tlaku, které jsou vypočteny ze skutečných hmotností závaží a efektivní plochy pístu a nejistota nastaveného tlaku je počítána z dílčích nejistot efektivní plochy, hmotnosti závaží a všech ovlivňujících veličin.

V textu úkolu je detailně rozebrán vztah pro výpočet tlaku generovaného na výstupu pístového tlakoměru s ohledem na jednotlivé veličiny, se kterými ve vzorci pracujeme. Nejistoty jejich hodnot a stanovení citlivostních koeficientů jsou základem k určení nejistoty měření pístového tlakoměru. Patří mezi ně především:

- **nejistota efektivní plochy pístu u_{Ae}** (uvedena na kalibračním listu pístového tlakoměru, obvykle největší složka celkové nejistoty),
- **nejistota hmotnosti pístu a závaží u_{MR}** (opět uvedena na kalibračním listu pístového tlakoměru),
- **nejistota hustoty vzduchu u_{pa}** (zahrnuje vliv vztlaku závaží; u absolutního tlaku je vliv nulový),
- **nejistota hustoty hmotnosti závaží u_{pM}** ,
- **nejistota tíhového zrychlení u_g** (hodnota tíhového zrychlení, pro kterou byl pístový tlakoměr vyhodnocen, je vždy uvedena na kalibračním listu, místní tíhové zrychlení by mělo být změřeno),
- **nejistota teplotního koeficientu a měření teploty u_a & u_T** ,
- **nejistota hustoty média u_f**

- **nejistota rozdílu referenčních úrovní u_h** (uplatní se při rozdílné výšce referenční úrovně měřidla a etalonu, zahrnuje hydrostatický tlak média),
- **nejistota měření zbytkového tlaku pod zvonem pístového tlakoměru u_{pv}** (přichází v úvahu při kalibraci měřidel absolutního tlaku),
- **nejistota měření díky tlakové deformaci měřky** (při vyšším tlaku může docházet ke změně efektivní plochy pístu díky tlakové deformaci).

Jednotlivé složky nejistoty jsou v textu úkolu popsány a stanoveny jejich citlivostní koeficienty. Protože zahrnutí všech složek nejistot ovlivňujících veličin je u pístových tlakoměrů poměrně pracné, v kap. A.5.8 [29] najdeme zjednodušující přístup. Do součtu čtverců složek nejistoty jsou zahrnuty dvě největší (nejistota efektivní plochy a hmotnosti, obě vyjádřeny relativně) a ostatní vlivy respektuje deseti-procentní navýšení součtu:

$$U_{(k=2)} = 2 \cdot \sqrt{1,1 \cdot (u_{Aef}^2 + u_M^2)} \quad (1)$$

3.2.2 Kalibrátory / kontroléry tlaku, digitální tlakoměry

U digitálních měřidel tlaku používáme nejčastěji dva typy etalonových měřidel:

- automatický kalibrátor (kontrolér) tlaku, který na základě připojení externího zdroje tlaku automaticky nastavuje zvolený tlak s požadovanou stabilitou a deklarovanou přesností,
- přesný digitální tlakoměr, který slouží pouze k indikaci hodnoty, tlak v systému musí být nastaven samostatným zdrojem tlaku.

V textu úkolu je popsáno, jak pracovat s kvalitativními údaji výrobců, jako jsou specifikace přesnosti měřidla, ovlivňující veličiny apod. Musíme současně sledovat podmínky, za kterých je specifikace stanovena, a věnovat pozornost i stanovení driftu (dlouhodobé stability).

3.2.3 Převodníky tlaku a tlakové difference

Ve formě etalonového měřidla se převodníky tlaku nepoužívají tak často jako digitální tlakoměry, nicméně vytvoření kompaktní sestavy tlakového převodníku s vhodným panelovým měřidlem elektrického signálu může být při stejné přesnosti ekonomicky zajímavější než digitální tlakoměr (kalibrátor). U inteligentních převodníků lze navíc využít komunikátor, který umožňuje měření elektrického výstupního signálu stejně jako měření tlaku ve fyzikálních jednotkách nebo v procentech zátěže.

Převodníky tlakové difference se primárně používají k měření tlakových ztrát při měření průtoku, ale malé rozdíly difference lze s výhodou použít pro měření velmi nízkých tlaků (podtlaků) proti barometrickému tlaku (kalibrace měřidel tlaku v technice prostředí). Specifikace těchto měřidel může být poměrně rozsáhlá.

3.2.4 Deformační tlakoměry

U deformačních tlakoměrů je základním kvalitativním údajem třída přesnosti, která je vesměs uvedena na číselníku tlakoměru. Třída přesnosti udává největší dovolenou chybu tla-

koměru v procentech, vztaženou k rozsahu stupnice (měřicímu rozpětí tlaku). Na číselníku nejpřesnějších tlakoměrů může být uvedena i referenční teplota včetně jejího rozmezí, ke kterému je TP vztažena. Přesnost tlakoměru je limitována dalšími faktory, např. velikostí průměru stupnice, schopností odečtu pracovníka, velikostí dílky stupnice, tloušťkou ukazatele, příp. použitím pomocných prostředků (lupa, kamerový odečet).

3.2.5 Měřidla elektrických veličin

S měřidly elektrických veličin pracujeme převážně při kalibraci převodníků tlaku a jejich kvalitativní ukazatele mohou významně ovlivnit nejistotu měření. Obecná zásada návaznosti požaduje min. 4× přesnější etalon, v případě kalibrace převodníků platí podmínka návaznosti pro celý měřicí systém (etalon tlaku včetně měřidel elektrických veličin). Rozebrány jsou vlastnosti digitálních multimetrů a odporových normálů, používaných pro nepřímá měření proudových výstupů snímačů tlaku.

3.3 Rozbor některých zdrojů nejistoty měření

3.3.1 Vliv teploty

Text úkolu podrobně rozebírá požadavky na referenční teplotu (rozmezí teplot) při kalibraci měřidel tlaku v různých dokumentech, které jsou používány při tvorbě kalibračních postupů. Teplota je pro všechna měřidla, která pracují na základních fyzikálních principech, nejdůležitější ovlivňující veličinou. V oboru tlaku se tento vliv týká v celém rozsahu měření pístových, deformačních a kapalinových tlakoměrů. U digitálních tlakoměrů nebo převodníků tlaku je vliv teploty významný v případě, kdy její hodnota překročí teplotně kompenzovaný rozsah, uvedený ve specifikaci měřidla. Pro každé měření je obvyklé definovat tzv. jmenovitou referenční (vztažnou) teplotu. V textu jsou uvedeny rozdílné přístupy jednotlivých dokumentů k jejímu stanovení.

Samostatný odstavec je věnován deformačním tlakoměrům, u kterých obvykle chybí informace výrobců. Text uvádí normované požadavky na teplotní koeficienty různých typů deformačních tlakoměrů a konstatuje nutnost jednotného údaje referenční teploty při porovnávání měření např. při pořádání mezilaboratorních porovnání.

U digitálních tlakoměrů a převodníků tlaku je situace ohledně referenční teploty příznivější. Bývá uváděna výrobcí včetně teplotní závislosti a kompenzovaného teplotního rozsahu. Pro externí kalibrace měřících řetězců je v textu doporučeno použití hodnoty teplotního koeficientu v rozmezí (0,01 až 0,06) % FS / °C.

3.3.2 Nejistota typu A (opakovatelnost) u měřidel tlaku, podmínka návaznosti

Kalibrační postupy měřidel tlaku byly vždy koncipovány tak, že se opakovatelnost zjišťovala ze tří cyklů měření ve směru vzrůstajícího i klesajícího tlaku. Souvisí to také s určením chyby reverzibility (hystereze), která je definována jako absolutní hodnota rozdílu mezi střední hodnotou údaje ve směru snižování a zvyšování tlaku. Obvykle se vyhodnocuje měření obou větví (vzrůstající a klesající hodnoty) samostatně a hystereze je uvedena na kalibračním listu. Pokud

bychom ale stanovili průměrnou závislost měřidla z obou směrů zatěžování, musíme uvažovat hysterezi jako jednu ze složek nejistoty typu B.

Pro určení opakovatelnosti se předpokládají úplné tři cykly měření ve všech kalibrovaných bodech pouze u nejpřesnějších měřidel. U nižších přesností se opakovatelnost vyhodnocuje pouze u vybraných bodů charakteristiky, určí se maximální hodnota a ta je uplatněna jako složka nejistoty typu A ve všech měřených bodech. Protože doporučený počet kalibračních bodů se v jednotlivých dokumentech liší, je v textu kapitoly provedeno porovnání jednotlivých přístupů. Základní rozdíl spočívá v odlišném přístupu [1], který při určování počtu bodů vychází z předpokládané nejistoty kalibrace. Ostatní dokumenty stanovují počet kalibračních bodů podle přesnosti měřidel, počty bodů se ale liší.

Mezi dokumentem [1] a ostatními platnými (i dnes neplatnými) dokumenty je zásadní rozdíl v požadavku na podmínku návaznosti mezi použitým etalonem a kalibrovaným měřidlem. Dokument [1] předpokládá, že nejistota etalonu (etalonového měřícího řetězce) by měla být lepší než nejistota kalibrovaného měřidla s tím, že poměr nejistot obou by měl být rovný nebo větší než 2. Tento poměr je plně akceptovatelný u měřidel tlaku vysokých přesností (např. TP 0,02 a lepší), kde rozhodují kromě technických i hlediska ekonomická. Pro horší přesnosti předpokládáme dosavadní přístup k návaznosti tj. poměr nejistoty měřidla vůči nejistotě etalonu rovný minimálně 4. Odpovídá to všem zbývajícím platným předpisům i dokumentu [1], který tuto možnost připsouští.

Rozdíl dokumentu [1] oproti ostatním je také ve způsobu stanovení nejistoty typu A. Běžně používáme určení dle [17], dokument [1] ale používá empirické vztahy, které jsou v textu uvedeny.

3.3.3 Drift etalonů

Drift etalonu (dlouhodobá stabilita) je parametrem, který musí kalibrační laboratoř trvale sledovat a vhodně ho zařadit do složek nejistot měření. V textu je popsán přístup ke stanovení driftu nejen u etalonů tlaku, ale také ostatních měřidel používaných při kalibraci měřidel tlaku.

3.3.4 (Ne)linearita

Ve specifikaci převodníků (snímačů) tlaku i některých digitálních měřidel často uvádějí výrobci tzv. linearitu. Linearita je uváděna buď jako samostatný parametr nebo je součástí přesnosti (accuracy), která kromě linearit zahrnuje obvykle i hysterezi a opakovatelnost převodníku. Při určování složek nejistot je tedy nutné přesně interpretovat kvalitativní parametry převodníku.

Reálná závislost výstupního signálu na aplikovaném tlaku nebude zcela lineární, rozdíly mezi měřenou funkcí a přímkou udávají nelinearitu, která se obvykle vyjadřuje v procentech měřícího rozpětí FS (např. $\pm 0,1\%$ FS). Pro určení vztažné přímky se běžně používají tři způsoby: *terminální linearita* (linearita koncových bodů; ideální přímka protíná oba koncové body nastaveného měřícího rozpětí), *linearita nulového bodu* (přímka vychází z dolní meze mě-

ření se sklonem zvoleným tak, aby bylo zajištěno, že maximální kladné a záporné odchylky jsou stejné), nebo *lineární regresní přímka* (ideální závislost je stanovena statisticky metodou nejmenších čtverců).

Typ nelinearity se volí podle počtu měřených bodů a skutečného průběhu odchylek měřených bodů (**obr. 1**).

Podle zvoleného vyhodnocení lineariry je (nebo není) prováděno nulování měřidla tlaku mezi jednotlivými sériemi. Přístup k nulování je v textu vysvětlen.

3.3.5 Deformační a digitální tlakoměry

Podle [1] se při vyhodnocování nejistoty měření tlaku deformačních a digitálních tlakoměrů musí zahrnout mezi složky nejistoty:

- nejistota referenčních etalonů vztážená k podmínkám jejich použití (zahrnutí všech relevantních složek jako přesnost, drift, teplotní vliv atd.),
- nejistota způsobená chybou nuly kalibrovaného měřidla,
- nejistota způsobená opakovatelností,
- nejistota způsobená reprodukovatelností (pokud je zjišťována),
- nejistota způsobená hysterezi kalibrovaného měřidla,
- nejistota způsobená konečným rozlišením kalibrovaného měřidla,
- nejistota způsobená odlehlostí referenčních úrovní měřidla a etalonu.

Jak bylo uvedeno v předchozím textu, dokument [1] uplatňuje poněkud odlišný přístup k opakovatelnosti měření. V této kapitole je popsán základní způsob vyhodnocení měření a přístup k opakovatelnosti a hysterezi podle zmíněného dokumentu.

3.3.6 Snímače a převodníky tlaku

Podle [1] se při vyhodnocování nejistoty měření tlaku převodníků (snímačů) tlaku musí zahrnout mezi složky nejistoty:

- nejistota referenčních etalonů vztážená k podmínkám jejich použití (obdobu deformačních a digitálních tlakoměrů),
- nejistota způsobená nulovou chybou kalibrovaného měřidla,
- nejistota způsobená opakovatelností,
- nejistota způsobená reprodukovatelností (pokud je zjišťována),

- nejistota způsobená hysterezi kalibrovaného měřidla,
- nejistota měřidel elektrických veličin použitých při kalibraci (napětí, proud, odpor) včetně jejich rozlišení a všech dalších vlivů,
- nejistota způsobená ovlivňujícími veličinami,
- nejistota způsobená napájecím napětím převodníků (podstatně především u snímačů tlaku s lineární závislostí napájení na výstupu; důležitá je přesnost nastavení napájecího napětí a krátkodobá stabilita zdroje),
- nejistota modelové charakteristiky – směrodatná odchylka měřených bodů od reálné charakteristiky (*poznámka autora*: nejistota koeficientů proložené přímky se do nejistoty kalibrace obvykle nezahrnuje, ale je uvedena na kalibračním listě),
- nejistota způsobená odlehlostí referenčních úrovní měřidla a etalonu.

Text této kapitoly úkolu se zabývá vzorovými příklady z dokumentu [1] a jejich uplatněním na jiné typy převodníků tlaku. Porovnává výhody a nevýhody přímého a nepřímého měření analogového proudového výstupu převodníků tlaku. Zabývá se také některými vlastnostmi tzv. inteligentních převodníků tlaku.

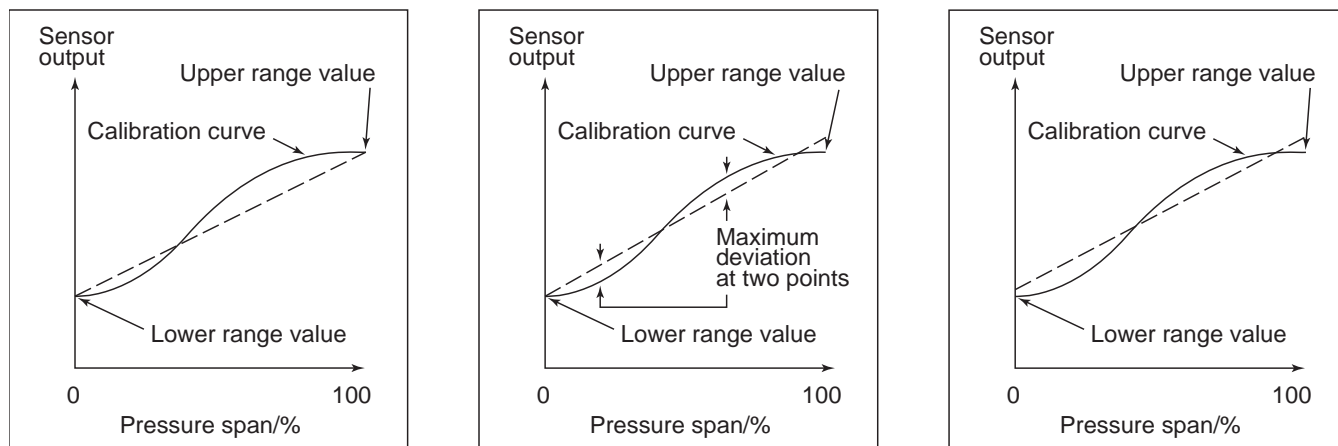
3.3.7 Přístup ke zdrojům nejistoty vyplývajících z měřených hodnot

Tato část úkolu se zabývá přístupem k vybraným zdrojům nejistoty při kalibraci měřidel tlaku dle [1], kterými jsou:

- rozlišení údaje (u digitálních i analogových měřidel),
- chyba nuly a její empirické vyjádření,
- opakovatelnost a reprodukovatelnost včetně doporučených vztahů pro výpočet,
- hystereze včetně jejího vyjádření.

3.4 Návrh doporučení pro stanovení nejnížší udávané nejistoty v oboru tlak

Předchozí text sumarizoval očekávané zdroje nejistot při měření tlaku tak, aby bylo možné stanovit nejistotu kalibrace při kombinaci etalonů a kalibrovaných měřidel uvedených v úvodu technické části úkolu. Z etalonových měřidel obsahuje nejvíce složek nejistot použití pístového tlakoměru, proto mu věnujeme samostatnou pozornost. Ostatní varianty lze zpracovat souhrnně podle typu měřidla.



Obr. 1: Druhy lineariry převodníků tlaku

3.4.1 Pístový tlakoměr a zdroje nejistot

Při určení zdrojů nejistoty, zahrnutých do nejnižší udávané rozšířené nejistoty jako součásti CMC při použití etalonového pístového tlakoměru (PT), můžeme vycházet z klasifikace metodik podle [1] uvedené v kapitole 2.2. Vzhledem k tomu, že většina pístových tlakoměrů má přesnost $\leq 0,1\%$ RDG, mohli bychom do nejnižších udávaných nejistot zahrnout tato měřidla následujícím způsobem:

Základní kalibrační postup dle [1] – do nejistoty v tabulce CMC zahrneme přesnost PT, uvedenou na kalibračním listu pro použití jmenovitých hodnot tlaku, které jsou vyznačeny na závaží.

Standardní kalibrační postup dle [1] – do nejistoty v tabulce CMC zahrneme přesnost PT, uvedenou na kalibračním listu pro použití skutečné efektivní plochy pístu a její nejistoty + skutečných hmotností závaží a jejich nejistot. Pro výpočet nejistoty PT by se mohl použít např. vzorec (20).

ZDROJ nejistoty	SLOŽKA nejistoty	Rozdělení pravděpodobnosti	Součást CMC	Poznámka	
ETALON	Opakovatelnost	Normální, rovnoměrné ¹	A		
	Přesnost dle specifikace	Rovnoměrné, trojúhelníkové ³	A ⁵		
	Drift etalonu	Rovnoměrné	A ⁵		
	Nejistota kalibrace	Normální	A		
	Vliv teploty	Rovnoměrné	A ⁶		
	Rozlišení	Rovnoměrné			
	Vliv napájení	Rovnoměrné	A		
	Nelinearita ²⁾	Rovnoměrné, trojúhelníkové ³	A ²		
	Vliv statického tlaku	Rovnoměrné	A ⁷		
	Vliv pracovní polohy	Rovnoměrné	A ⁷		
	Nejistota měření vakua nebo barometrické reference	Normální, rovnoměrné ³	A ⁸		
	DUT	Opakovatelnost	Normální, rovnoměrné ¹		
		Vliv teploty	Rovnoměrné		
Rozlišení		Rovnoměrné	A ⁹		
Vliv napájení		Rovnoměrné			
Vliv statického tlaku		Rovnoměrné			
Vliv pracovní polohy		Rovnoměrné			
Chyba nuly		Rovnoměrné			
Reprodukovatelnost		Rovnoměrné			
Hystereze		Rovnoměrné ⁴			
Rozdíl referenčních úrovní		Rovnoměrné			
DMM ¹⁰	Přesnost dle specifikace	Rovnoměrné, trojúhelníkové ³	A ⁵		
	Drift	Rovnoměrné	A ⁵		
	Nejistota kalibrace	Normální	A		
	Rozlišení	Rovnoměrné	A		
	Vliv teploty	Rovnoměrné			
MĚŘICÍ ODPOR ¹⁰	Přesnost dle specifikace	Rovnoměrné, trojúhelníkové ³	A ⁵		
	Drift	Rovnoměrné	A ⁵		
	Nejistota kalibrace	Normální	A		
	Vliv teploty	Rovnoměrné			

Vysvětlivky k tabulce:

¹normální rozdělení pravděpodobnosti při stanovení dle [17], rovnoměrné při stanovení dle [1]

²pouze, pokud je samostatně uvedena a není součástí přesnosti

³podle odhadovaných vlastností, způsobu zjištění

⁴uvedeno v souladu s [1]; vliv hystereze měřidla může být očekáván v plné výši při každém měření, tomu odpovídá bimodální trojúhelníkové rozdělení pravděpodobnosti

⁵možná kombinace zdrojů podle dlouhodobého chování měřidla

⁶pouze při očekávaném použití v širokém rozmezí teplot (externí měření)

⁷u měřidel tlakové difference (připadá-li v úvahu)

⁸měřidla absolutního tlaku

⁹rozlišení tzv. nejlepšího měřidla, které je laboratoř schopna kalibrovat

¹⁰ ...převodníky tlaku

Úplný kalibrační postup dle [1] – do nejistoty v tabulce CMC zahrneme přesnost PT, uvedenou na kalibračním listu pro použití skutečné efektivní plochy pístu a její nejistoty + skutečných hmotností závaží a jejich nejistot a současně zahrneme všechny relevantní složky nejistoty popsané v kapitole 1.1 s tím, že jejich velikost dosahuje alespoň (5 až 10) % očekávané nejistoty kalibrace.

Na nejistoty efektivní plochy a hmotnosti uplatníme normální rozdělení pravděpodobnosti, rovnoměrné rozdělení pak na ostatní složky, určené z maximální možné chyby.

3.4.2 Složky nejistot a nejnižší udávané nejistoty ostatních měřidel

Tabulka na straně 32 shrnuje všechny složky nejistot popsané v textu zprávy a spolu s vysvětlujícími odkazy označuje písmenem A složky, které by měly být zohledněny za uvedených podmínek při určování nejmenší udávané nejistoty laboratoře.

Použitá literatura

- [1] Euramet Calibration Guide No. 17: Guidelines on the Calibration of Electromechanical and Mechanical Manometers; Version 3.0 (EURAMET 04/2017)
- [2] ČSN EN 61298-1 ed.2: Zařízení pro měření a řízení průmyslových procesů – obecné metody a postupy pro hodnocení vlastností. Část 1: Obecné úvahy (08/2009)
- [3] ČSN EN 61298-2 ed.2: Zařízení pro měření a řízení průmyslových procesů – obecné metody a postupy pro hodnocení vlastností. Část 2: Zkoušky při referenčních podmínkách (08/2009)
- [4] ČSN EN 60770-1 ed.2: Měřicí převodníky pro řídicí systémy průmyslových procesů. Část 1: Metody hodnocení vlastností (09/2011)
- [5] ČSN EN 60770-3 ed.2: Měřicí převodníky pro řídicí systémy průmyslových procesů. Část 3: Metody hodnocení vlastností inteligentních převodníků (03/2015)
- [6] ČSN EN 837-1: Měřidla tlaku. Část 1: Tlakoměry s pružnou trubicí – rozměry, metrologie, požadavky a zkoušení (03/1998)
- [7] ČSN EN 837-3: Měřidla tlaku. Část 3: Membránové a krabicové tlakoměry – rozměry, metrologie, požadavky a zkoušení (03/1998)
- [8] ČSN 18 1002: Měřicí převodníky – všeobecné technické požadavky (03/1982 – dnes neplatná)
- [9] ČSN 18 1005: Měřicí převodníky (snímače) tlaku s elektrickými unifikovanými analogovými výstupními signály – všeobecné technické požadavky a metody zkoušek (01/1985 – dnes neplatná)
- [10] TPM 4655-01: Měřicí převodníky tlaku – metody zkoušení při ověřování (ČMI 02/2002)
- [11] ČSN 25 7201: Provozní deformační tlakoměry – všeobecná ustanovení (10/1985 – dnes neplatná)
- [12] ČSN 25 7207: Manometry, manovakuometry a vakuometry indikační – metody zkoušení při úředním ověřování (12/1980 – dnes neplatná)
- [13] ČSN 25 7214: Etalonové deformační manometry a vakuometry – technické požadavky (05/1984 – dnes neplatná)
- [14] ČSN 25 7215: Manometry, vakuometry deformační; sekundární etalony – metody zkoušení pro úřední ověřování (06/1986 – dnes neplatná)
- [15] Doporučení RM AERO 802 41: Kalibrace a použití elektromechanických manometrů (směrnice leteckého průmyslu 08/1993)
- [16] TPM 4654-01: Měřicí převodníky tlaku – metrologické a technické požadavky (ČMI 02/2002)
- [17] Dokument EA-04/02 M:2013: Vyjádření nejistoty měření při kalibraci (překlad ČIA 04/2014)
- [18] Guideline DKD-R 6-1: Calibration of Pressure Gauges; edition 03/2014
- [19] Douglas A. Olson: NIST Calibration Services for Pressure using Piston Gauge Standards (NIST Special Publication 250-39 2009; 07/2009)
- [20] Douglas A. Olson, R. Greg Driver: SIM Metrology School – PRESSURE (NIST 10/2013)
- [21] M. P. Fitzgerald, D. J. Jack: MSL Technical Guide 13 – Pressure Gauge Calibration (MSL Measurements Standards Laboratory of New Zealand 07/2006)
- [22] Guide to the Measurement of Pressure and Vacuum (NPL; Institute of Measurement and Control, ISBN 0 904457 29 X; 1998)
- [23] Snímače tlaku a tlakové diference – JSP Měření a regulace (JD 01 – 05/2015)
- [24] Jiří Tesař, Dominik Pražák: Pressure Transducers with unified (4 – 20) mA or (10 – 50) mA Output Signal – 4th Draft OIML Recommendation TC10-SC1 (datum nevedeno)
- [25] Zdeněk Faltus: Kalibrace deformačních tlakoměrů (Škola tlaku BD Sensors 2005)
- [26] Martin Vičar: Kalibrace převodníků tlaku (Škola tlaku BD Sensors 2005)
- [27] OIML R 101: Indicating nad recording Pressure Gauges, Vacuum Gauges and Pressure-vacuum Gauges with elastic sensing Elements (Ordinary Instruments – edition 1991)
- [28] OIML R 109: Pressure Gauges and Vacuum Gauges with elastic sensing Elements (Standard instruments – edition 1993)
- [29] OIML R 110: Pressure Balances (edition 1994)
- [30] OIML R 111-1: Weights of classes E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ and M₃; Part 1: Metrological and technical Requirements (edition 2004)
- [31] ČSN IEC 381-1 (180110) Analogové signály pro systémy řízení procesů. Část 1: Stejnoseměrné proudové signály (12/1997)
- [32] ČSN IEC 381-2 (180111) Analogové signály pro systémy řízení procesů. Část 2: Stejnoseměrné napěťové signály (05/1993)
- [33] Informační materiály firem FLUKE, EMERSON ROSEMOUNT, YOKOGAWA, HONEYWELL, ENDRESS & HAUSER

PŘÍSPĚVEK K PROBLEMATICE ZASTÍNĚNÍ ZEMĚDĚLSKÝCH POZEMKŮ STAVBAMI

Ing. Pavel Rubáš, Ph.D.

Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.

Zemědělským půdním fondem se rozumějí pozemky evidované v katastru nemovitostí jako orná půda, chmelnice, vinice, zahrada, ovocný sad, louka a pastvina. Naopak nezemědělskou půdou se rozumí lesní půda, vodní plochy, zastavěná plocha a nádvoří, ostatní plochy (silnice, náměstí, návsí, ulice, hřiště, parky, lomy, rokle). V platné právní úpravě České republiky existuje pro pozemky jediné kritérium zastínění, resp. oslunění, které se vztahuje pouze na plochy v okolí obytných budov, ve smyslu ČSN 73 4301 Obytné budovy, sloužící k rekreaci jejich obyvatel, které mají mít alespoň polovinu plochy osluněnou nejméně 3 hodiny dne 1. března. Normové kritérium souvisí s fyziologickým a hygienickým významem slunečního záření na lidský organismus, jelikož sluneční záření má příznivý vliv na lidskou psychiku, uvedené kritérium je logické a přirozeně stanoví spodní hranici slunečního svitu při zanedbání oblačnosti pro kritické datum v předjarním období v místech, jež jsou v těsné blízkosti lidských obydlí, a jejich zjevným účelem je rekreace. Typicky se jedná o různá nádvoří a ostatní plochy s rekreační funkcí, do nichž však nelze v žádném případě zařadit zemědělské pozemky.

Jak tedy hodnotit zastínění, resp. oslunění zemědělských pozemků? Ve znalecké praxi se můžeme setkat s otázkami soudů, žalobců či žalovaných na téma ztráty slunečního svitu na zemědělské půdě vlivem nástavby, přístavby domu či neprůsvitného oplocení na sousedním pozemku. Použití kritéria oslunění plochy určené k rekreaci podle ČSN 73 4301 je v těchto případech nevhodné, už jenom z toho důvodu, že tyto plochy svým charakterem spadají pod zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu v úplném znění, kde je dle § 3 zásady ochrany zemědělské půdy zakázáno užívat zemědělskou půdu k nezemědělským účelům bez souhlasu s odnětím ze zemědělského půdního fondu a též poškozovat fyzikální, chemické nebo biologické vlastnosti zemědělské půdy jejím zhutňováním, zamokřováním, vysoušením, překryváním nebo narušováním erozí. To znamená, že jakýkoliv pozemek se zapsaným způsobem ochrany „zemědělský půdní fond“ v katastru nemovitostí, byť se nachází v okolí staveb pro bydlení, nemůže být považován za plochu určenou k rekreaci, jelikož jeho rekreační využití by znamenalo nezemědělské využití v rozporu se zákonem o ochraně zemědělského půdního fondu. Zemědělský půdní fond je jasný právní pojem, který zahrnuje zemědělsky obhospodařovanou půdu a zemědělské pozemky i půdu, která momentálně není obdělávána. Celkově půdní fond České republiky tvoří téměř 8 milionů hektarů, což je něco málo přes polovinu celkové rozlohy státu. Se stoupající nadmořskou výškou se poměr zemědělského půdního

fondu zužuje, ale v ČR lze nalézt pozemky zemědělského půdního fondu i v relativně extrémních nadmořských výškách okolo 1 200 m n. m. Vlastnictví zemědělského půdního fondu České republiky je většinou v rukou fyzických a právnických osob, z toho 70 % půdy obhospodařují společnosti, družstva a podnikatelé. Ve vlastnictví státu je cca 0,3 milionu hektarů.

Za povšimnutí stojí důrazný zákaz poškozování vlastností zemědělské půdy všemožnými způsoby, z čehož lze odvodit, že významné zastínění, resp. významná ztráta oslunění zemědělské půdy je minimálně biologickýmškozením, neboť vodní režim se spolu se sluneční radiací projevují jako rozhodující prvek ve vývoji rostlin a výběru druhů [2]. Zvláštní charakter má orná půda. Za ornou půdu se považuje pozemek, na němž se pravidelně pěstují obilniny, okopaniny, pícniny, technické plodiny a jiné zemědělské plodiny nebo který je jen dočasně zatravnován, přičemž dočasnost není nijak konkrétně definována. V praxi se pak můžeme setkat se situací, kdy je rodinný dům umístěn na stavební parcele vyňaté ze zemědělského půdního fondu a několik stovek čtverečních metrů pozemků je *de iure* vedeno v katastru nemovitostí jako orná půda se způsobem ochrany „zemědělský půdní fond“ velmi vysoké bonity. Majitel de facto nechává ornou půdu ležet ladem, půda je dočasně zatravněna a při běžném pohledu může připomínat plochu k rekreaci. V průběhu času pojme jeden ze sousedů záměr realizovat na svém pozemku doplňkovou stavbu v blízkosti sousedního pozemku. Obecně můžeme konstatovat, že jakýkoliv stavební objekt realizovaný na sousedním pozemku bude působit ztrátu oslunění předmětné orné půdy, ač toto stínění může být zanedbatelně malé. Sousední vlastník půdy zapsané v zemědělském půdním fondu vznesou oprávněnou či účelovou námitku, že navržená stavba na sousedním pozemku bude poškozovat biologické vlastnosti jeho orné půdy vlivem nadměrného stínění, a samozřejmě nebude schopen v daný okamžik ztrátu oslunění kvantifikovat, ale empiricky a preventivně bude tvrdit, že se nadměrný stín zcela jistě projeví na vývoji rostlin všeho druhu, protože příští rok hodlá půdu zorat a vysadit tu obilniny, tam okopaniny a na hranici se sousedem luštěniny. Rozumný kompromis mezi sousedy nenastává a postupem času oba skončí u soudu, první zažaluje druhého za významné znehodnocení orné půdy extrémním stíněním nebo druhý prvního za nesmyslnou a trvalou blokadu nevýznamné stavby vzdálené 5 m od pozemku na základě obstrukce, která je postavena na úvaze, že soused „zemědělec“ někdy v budoucnu rozorá svůj pečlivě udržovaný anglický trávník v okolí svého obydlí.

Poté do celého případu vstupuje soud, obě strany sporu si již preventivně zajistily odborné posudky ve smyslu ČSN 73 4301, že předmětný pozemek ve výchozím stavu bez zamýšlené stavby na pozemku sousedním nemá či má polovinu plochy osluněnou nejméně 3 hodiny dne 1. března.

Jeden autorizovaný inženýr může dojít k oslunění dvě hodiny padesát minut a druhý autorizovaný inženýr k oslunění tři hodiny a pět minut. Tento výpočet je často zatížen řadou těžko uchopitelných a sporných podmínek, např. v místě je větší počet jehličnatých stromů nebo mají stávající stavby složitou geometrii. Navíc oba zpracovatelé použili různé počítačové programy nebo odlišné grafické metody, např. diagram zastínění vs. pravoúhlý sluneční diagram. Soud má rozhodnout, zda plánovaná nevýznamná stavba (např. garáž) bude v území významným faktorem, který dramaticky změní poměry orné půdy, jelikož jedna ze stran sporu na základě paradoxního posouzení oslunění zemědělské půdy metodou pro pozemky určené k rekreaci považuje za významný problém, že při oslunění těsně pod 3 hodiny dne 1. března na polovině plochy pozemku nevykvetě mák a nedozrají brambory. Pozorný čtenář nyní jistě vnímá absurditu celého fiktivního sporu, který autor vytvořil jako záměrnou syntézu mnoha reálných příběhů.

Osvícený soudce postupem času pochopí, že způsob hodnocení ztráty oslunění podle ČSN 73 4301 u zemědělské půdy je nesprávný a ve snaze spravedlivě rozhodnout, se přikloní k zapsanému, tedy k deklaratornímu využívání pozemku před stavem faktickým, neboť záměr budoucí orby půdy zapsané v zemědělském půdním fondu, jež leží ladem, nelze žádným způsobem vyvrátit, a tak nejde o plochu určenou k rekreaci. Soud jmenuje znalce se specializací oslunění, kterému uloží úkol zpracovat znalecký posudek pro potřeby soudu. Zásadní otázka je formulována následovně: „Určete zastínění pro pozemek p. č. 111/11 zapsaný v zemědělském půdním fondu v katastrálním území Příkladov pro současný stav a pro stav s navrženou stavbou na sousedním pozemku p. č. 222/22 v katastrálním území Příkladov.“ Takto položená otázka vypadá pro laiky v oboru oslunění na první pohled velmi jednoduše. V době pokročilých technologií nás v souvislosti s otázkou mohou napadnout myšlenky i na renesanci fotografické registrace dráhy slunce. Znalec si však uvědomuje robustnost zadané úlohy, že zde nemůže použít jeden výpočet v pravoúhlém slunečním diagramu a jasné kritérium typu konkrétní den v roce – konkrétní procento plochy pozemku – konkrétní hranice oslunění. Naopak při vyčíslení zastínění, resp. ztráty oslunění pozemku, musí vycházet ze základů sférické astronomie. Zjednodušeně řečeno v průběhu roku obíhá planeta Země kolem Slunce na eliptické dráze (nikoliv kruhové) a současně se v průběhu dne otáčí kolem své vlastní osy. Tyto pohyby naší planety vůči Slunci vnímáme jako pohyb slunce po obloze po konkrétní dráze, která se však ze dne na den mění, dráha slunce je dnes jiná než včera. Čistě matematicky existuje 365,26 dnů v roce s unikátní dráhou slunce. Úlohu samozřejmě můžeme v průběhu řešení díky principu rovnodennosti zredukovat na polovinu. Pokud zmíněný imaginární zemědělský pozemek o rozměrech 50 × 50 m rozdělíme do sítě s rastrem 1 m, budeme mít 2 500 bodů a 182 možných drah slunce, což znamená řádově půl milionu výpočtů slunečních diagramů pro každý požadovaný stav výpočtu, což znamená celkem okolo milionu výpo-

čtů. Úloha je natolik rozsáhlá, že je v praxi neřešitelná a musí obvykle dojít k výraznému zjednodušení, kdy se realizuje jeden výpočet pro každý měsíc, např. pro každý první den v měsíci a hodnoty pro mezilehlé dny se lineárně interpolují. Díky výpočtům v poměrně husté síti bodů 1 × 1 m se můžeme dozvědět, kolik minut je v každém dni v roce konkrétní bod osluněn, ku příkladu pro datum 1. leden; souřadnice (0,0); bod osluněn 124 minut. Pokud tyto dva stavy proti sobě odečteme, získáme ztrátu oslunění v každém z bodů pro příslušný den v roce, např. pro datum 1. leden; souřadnice (0,0); ztráta oslunění 5 minut. Výsledné matice dat budou pro soud neuchopitelné, soud bude chtít vyčíslit indexy či jednočíselné hodnoty, což lze snad i poměrně jednoduše učinit sumarizací hodnot oslunění pro jednotlivé výpočtové dny, které se podělí počtem výpočtových bodů, a tak se získá téměř nicneřikající aritmetický průměr oslunění plochy pro konkrétní den, například, že pro 1. leden je průměrné oslunění plochy 153,5 minuty ve výchozím stavu bez zamýšlené stavby na sousedním pozemku a 152,4 minuty pro stav budoucí se zamýšlenou stavbou na sousedním pozemku. Stejně tak lze na požadavek soudu zpracovat jakési indexy zastínění, které mohou nabývat hodnoty 0 až 1. Nula přitom odpovídá absolutnímu zastínění, tj. ekvivalent spojitých a nekonečně vysokých stínících překážek, kdy pozemek není v průběhu roku osluněn jedinou minutu, a na druhou stranu jedna odpovídá absolutnímu oslunění, tj. ekvivalent bodu na mořské hladině mimo dohled pevniny. Pro stav výchozí a stav budoucí lze dopočítat indexy zastínění např. 0,78 vs. 0,75. Je však třeba upozornit, že tyto indexy nejsou nikterak normalizovány a může jít o snahu znalce o srozumitelnou a zjednodušenou interpretaci extrémně velkého souboru výsledků.

Tím role znalce se specializací oslunění končí, znalec této specializace nemůže soudu odpovídat na otázky, zda průměrná ztráta oslunění na pozemku v dubnu v hodnotě 3 minuty bude mít vliv na klíčivost či jaká bude očekávaná ztráta úrody přepočtená na hektar. Dané otázky musí směřovat na znalce v oboru polnohospodářských plodin a zemědělství. Je otázkou, zda takový znalec bude vůbec schopen výsledek uvedených složitých výpočtů použít. Zda je vůbec dostatečně známo, jak může doba slunečního svitu v průběhu roku ovlivnit růst rostlin a úrodu. Pokud ano, pak je jisté, že takové hodnocení bude mít u každého druhu plodiny jiný výsledek. Pro pěstování jistých druhů může být přístínění i přínosem (ve stínu nevykvetě tak brzy, a proto nezmrzne a poskytne vyšší výnos). Výpočty oslunění zemědělského pozemku přepočtené pro zjednodušení na jednotlivé měsíce mohou být pro tohoto znalce užitečným vstupem, aby určil vliv dílčí ztráty oslunění na zemědělskou půdu a budoucí výnosy z ní. Je též nutné podotknout, že pravoúhlý sluneční diagram je pomůckou, která zobrazuje zdánlivou dráhu slunce plošně, na základě průmětu do roviny. Přesné výpočty na základě sférické astronomie jsou velmi pracné a současně neumožňují názornou představu o směru a působení slunečních paprsků v členité situaci se stínícími překážkami. Vlastní

pravoúhlý sluneční diagram je zobrazení zdánlivé dráhy slunce v pravoúhlých souřadnicích, kde abscisou je azimut a pořadnicí výška slunce. Ukázka pravoúhlého slunečního diagramu je na obrázku č. 1, kde je patrný výrazný rozdíl v dráze slunce pro náhodně vybraná data 1. března a 1. července. Je zřejmé, že ztráta oslunění bude každé konkrétní datum i se stejnou konfigurací stínících překážek jiná. Tento diagram má své výhody i nevýhody. Výhodou je velká názornost této grafické pomůcky včetně možnosti počítačového modelu, kdy se překážky i dráha slunce jeví tak, jak se na ně díváme z bodu, jehož oslunění zjišťujeme. Oproti tomu nevýhodou je značné zahuštění pro velké výšky slunce při malých zeměpisných šířkách, což však není případ České republiky [1]. Alternativně lze pro výpočty použít stereografický diagram a klasický diagram zastínění či méně používané diagramy, kterými jsou ortografický, ekvidistantní nebo gnómičský.

Analogické úlohy se mohou objevit také v případě fotovoltaických elektráren, kde je nutné k výpočtům přistupovat stejně, bez možnosti použití jednoduchého kritéria vztaženého na jeden konkrétní den v roce. Jejich majitelé vnímají hrozbu stínění mnohem citlivěji než vlastníci zemědělské půdy. Výsledky výpočtu ztráty oslunění fotovoltaických elektráren vlivem plánované okolní výstavby může od znalce na oslunění následně převzít znalec v oboru energetiky, aby kvantifikoval potenciální roční ztrátu výroby elektřiny v technických jednotkách či financích.

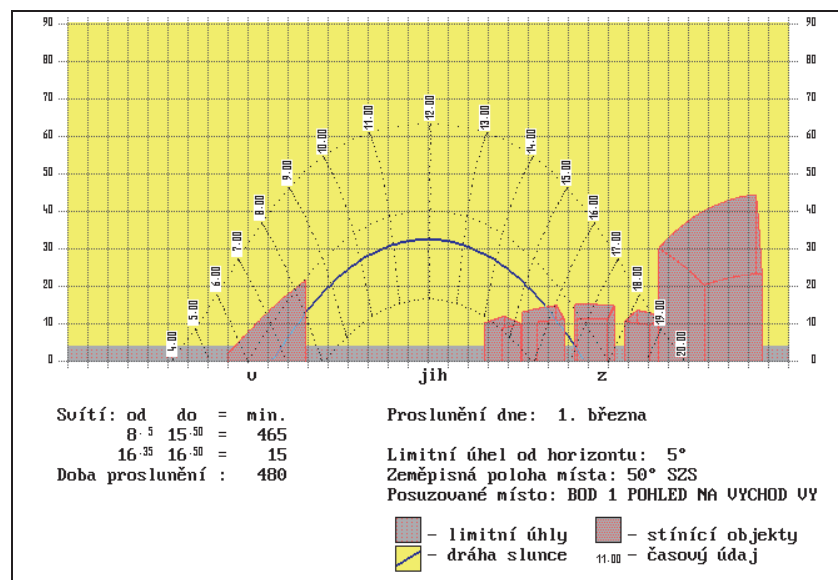
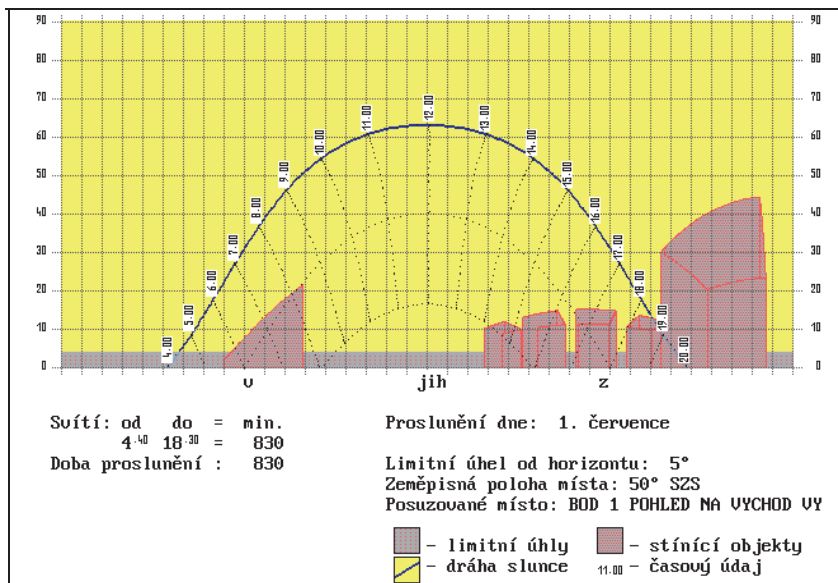
Závěr

V článku se autor snaží čtenářům přiblížit složitou situaci, která vzniká při požadavcích na zastínění pozemků, jež nejsou určeny k rekreaci. Typicky se jedná o pozemky, které jsou zapsané v zemědělském půdním fondu a jsou předmětem sousedského sporu ve věci zastínění, resp.

ztráty oslunění, ale též pozemky, na nichž jsou instalovány fotovoltaické elektrárny. Klasické normové kritérium definované v ČSN 73 4301 Obytné budovy, není v těchto případech použitelné, protože je postaveno na hygienickém významu oslunění, a nikoliv na významu oslunění v agronomickém či energetickém smyslu. Kritérium ČSN 73 4301 je určeno pouze pro rekreační pozemky, zatímco pro pozemky zapsané v zemědělském půdním fondu a pozemky s fotovoltaickými elektrárnami se používat nesmí. Hodnocení ztráty oslunění těchto pozemků vyžaduje výrazně robustnější výpočty s poměrně přesnou kvantifikací ztráty slunečního svitu v průběhu celého roku ve velkých sítích bodů. Pro řešení soudních i mimosoudních sporů na téma zastínění zemědělské půdy či fotovoltaiky je nutný multidisciplinární přístup se zapojením znalců různých specializací a jak bylo již řečeno, v konečném důsledku bude mít hodnocení zastínění, resp. oslunění v případě zemědělských pozemků u každého druhu plodiny jiný výsledek. Pro pěstování jistých druhů může být přístínění i přínosem (ve stínu nevykvete tak brzy, a proto nezmrzne a poskytne vyšší výnos), a tak je zpracování odpovědi na jednoduše formulované otázky soudů nebo klientů ohledně nadměrného stínění zemědělských pozemků stavbami vždy nesmírně obtížné.

Literatura:

[1] WEIGLOVÁ, J., D. BEDLOVIČOVÁ a J. KAŇKA. *Stavební fyzika 1: Denní osvětlení a oslunění budov*. Praha: ČVUT, 2006.
 [2] DUMROVSKÝ, M. a R. MILERSKI. *Vodní hospodářství krajiny II*. Brno: VUT, 2009.
 [3] ČSN 73 4301 *Obytné budovy*. 2010.



Obr. 1: Pravoúhlé sluneční diagramy s ukázkami drah slunce v jednom bodě pro data 1. března a 1. července

INFORMACE O PRÁCI ČESKÉHO KALIBRAČNÍHO SDRUŽENÍ (ČKS, z.s.)

Ing. Jiří Kazda
předseda výboru ČKS



Úvod

České kalibrační sdružení je zájmovým sdružením akreditovaných a autorizovaných laboratoří a dalších zájemců o metrologii a hlavně o oblast kalibrací pracovních měřidel a ověřování stanovených měřidel. ČKS má uzavřenou dohodu o spolupráci s Českou metrologickou společností a s Kalibračním sdružením SR v Bratislavě (KZSR) pro koordinaci činnosti, výměnu zkušeností a osvědčených přednášek a pro společné pořádání akcí v oblasti metrologie. V rámci Sdružení působí sekce pro ověřování tachografů. Počet členů sdružení v současné době přesahuje stovku.

Hlavním cílem sdružení je dvakrát ročně na odborných konferencích zprostředkovat aktuální informace z oblasti státní metrologie (ÚNMZ, ČMI, Ministerstva dopravy v oblasti tachografů) a z oblasti akreditace (ČIA) a v současné době také zkušenosti se zaváděním nové normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2018. Součástí konferencí jsou také odborné přednášky zaměřené na novinky a nové přístupy práce v laboratořích. Informace na konferencích umožní laboratorům i pracovníkům z praxe zajistit, že jsou informováni s předstihem o všech významnějších změnách předpisů, požadavků i trendů vývoje a dozví se všechny potřebné novinky včas. Důležitou předností pro účastníky konference je možnost okamžitě po nové informaci konzultovat se zástupci úřadů případné nejasnosti ihned po informacích na konferenci, nebo i později neformálně při setkání s příslušnými pracovníky ÚNMZ, ČIA a ČMI v rámci konference.

58. konference ČKS

se konala 14. a 15. května 2019 tradičně v Hotelu Skalský Dvůr v Lísku u Bystřice nad Pernštejnem.

Jarní konference jsou spojeny se schůzí spolku, které se zúčastňují členové ČKS. **Schůze spolku ČKS z.s.** se zúčastnila nadpoloviční většina členů a schůze byla usnášením schopná. Program byl:

- volba návrhové komise
- zpráva o činnosti za rok 2018 Ing. Jiří Kazda
- plán činnosti na rok 2019 Ing. Jiří Kazda
- zpráva o hospodaření za rok 2018 Jan Střelec
- zpráva revizní komise za rok 2018 Ing. Vladislav Šmarda
- návrh usnesení a jeho schválení

Program odborné části konference

První vystoupil s aktuálními informacemi z ÚNMZ Ing. Zbyněk Veselák, ředitel odboru metrologie ÚNMZ. Informoval o novinkách v mezinárodních organizacích OIML, WELMEC a 26. zasedání Generální konference pro váhy a míry (CGPM), kde byla přijata redefinice některých jednotek Mezinárodní soustavy jednotek SI. Dále informoval o nových státních etalonech, programu rozvoje metrologie a problematice autorizací v připravovaném zákoně o metrologii.

S aktualitami z oblasti akreditace vystoupil za ČIA o.p.s. Ing. Pavel Nosek, ředitel odboru zkušebních a kalibračních laboratoří. A o zkušenostech se zaváděním nové normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 z pohledu akreditačního orgánu informoval Ing. Martin Valenta (garant akreditace kalibračních laboratoří ČIA). Ing. Valenta probral nové uspořádání příloh osvědčení k akreditaci uvádějících kalibrační schopnosti, které by měly být přehlednější, jednodušší a také jednodušeji zpracovatelné do informačního systému.

RNDr. Pavel Klenovský, generální ředitel ČMI seznámil účastníky s průběhem 26. zasedání Generální konference pro váhy a míry (CGPM). Uskutečnilo se v Paříži, ve dnech 13. až 16. 11. 2018 a klíčovým bodem byla redefinice základních jednotek SI. Vysvětlil nové definice jednotek SI.

Organizátorům se podařilo zajistit zahraničního přednášejícího, kterým byl Robin Farley, ze špičkové akreditované kalibrační laboratoře MBW Calibration Ltd. Švýcarsko. Přednášel na téma „Systémy a vývoj v organizaci pověřené správou švýcarských státních etalonů vlhkosti“. Firma MBW Ltd. je výrobcem světově špičkové měřicí techniky pro oblast měření vlhkosti vzduchu a jejími přístroji jsou vybaveny mnohé národní laboratoře.

Tématu „měření a kalibrace měřidel vlhkosti“ byla věnována i další přednáška Ing. Jiřího Bilka (ČMI). Probral základní principy konstrukce měřidel pro měření vlhkosti vzduchu a jejich vlastnosti a dále se věnoval popisu státního etalonu vlhkosti vzduchu při atmosférickém tlaku.

Tradičně poutavá přednáška byla RNDr. Simony Klenovské (ČMI) týkající se „novinek zajímavostí a kuriozit mezilaboratorních porovnání v r 2018 a plánu mezilaboratorních porovnání v roce 2019“.

Organizátoři konference využili dlouholetých zkušeností Ing. Josefa Vojtíška (ČMI) který měl dvě přednášky. První „Zkušenosti z externích výkonů z oboru teploty“ dávala přehled o vlivech na měření, které se při kalibracích u zákazníků mohou vyskytovat a na co je třeba se zaměřit a dávat pozor. Druhá přednáška byla „Kalibrace měřidel tlaku – dokument EA-cg 17, evropské normy a praxe“. Příspěvek popisoval postupy kalibrace dle EA-cg 17 ve srovnání s jinými staršími předpisy. V další informaci se také věnoval výstupu úkolu programu rozvoje metrologie harmonizace v oboru měření tlaku v r. 2018.

ČKS řešilo v r. 2018 úkol programu rozvoje metrologie na téma „Revize kalibračních postupů pro váhy s neautomatickou činností a vytvoření interaktivního formuláře pro zpracování výsledků a vyjádření nejistot při kalibracích vah s neautomatickou činností“; Ing. Ivan Kříž, (ČMI Brno). Revize reflektuje především nové prvky obsažené v poslední verzi 4.0 dokumentu EURAMET č. 18. Předmětem revize byl především výpočet nejistoty opakovatelnosti, excentricity, použití náhradní zátěže a výpočet rozšířené nejistoty při vlastní kalibraci.

Druhou částí řešení úkolu programu rozvoje metrologie bylo zpracování „Softwarového nástroje pro zpracování výsledků měření při kalibracích vah s neautomatickou činností v tabulkovém procesoru Excel“, které zpracoval Ing. Pavel

Vejhoda. Probral postup při práci s tímto programem včetně příkladů. Výstup řešení úkolu i vlastní program pro vyhodnocování je k dispozici ke stažení na [www stránkách ČKS](http://www.stránkách.ČKS).

Ing. Zdeněk Faltus, (BD SENSORS s.r.o.) v přednášce „*Výrok o shodě a rozhodovací pravidla v průmyslové kalibrační laboratoři*“ se podrobně zabýval novým požadavkem normy. Uvedl, jak se počítá s nejistotou měření při stanovování shody se specifikovaným požadavkem a jak se vypořádat s požadavky normy, že pokud se poskytuje výrok o shodě se specifikací nebo normou, musí laboratoř dokumentovat použité rozhodovací pravidlo s přihlédnutím k úrovni rizika (jako je falešné přijetí a falešné odmítnutí a statistické předpoklady) spojené s použitým rozhodovacím pravidlem a toto rozhodovací pravidlo použít.

Ing. Milan Beneš (Metrologie ČEZ JE) v příspěvku „*Co by se metrologovi stát nemělo, co by se metrologovi stát mělo – zkušenosti z praxe*“ zahájil cyklus přednášek z praxe kalibračních laboratoří. Byly uvedeny praktické zkušenosti a poznatky z kalibrační laboratoře teplot.

Poslední přednáškou všeobecné sekce byla informace „*No-vinky firmy Blue Panther s.r.o.*“, kterou přednesl zástupce firmy.

Sekce tachografy

Samostatnou část sekce tachografy zahájil odborný garant sekce Pavel Souček.

Jako první vystoupil *Lukáš Rutar, (ČMI Brno)*, s důležitým příspěvkem na téma „*Aktualizace postupu MP 018-17 o zkoušení tachografů 2. Generace*“. Rozsáhlý příspěvek popsal změny v předpisu MP 018-17 pro autorizaci AMS tachografů.

Následoval velmi zajímavý příspěvek *Ing. Andreje Haringa, (TRUCK CONSULT)*, na téma „*Manipulace s tachografy, vliv na některé systémy nákladních vozidel*“.

Pan Torčík Adam (Zástupce spol. Centrum tachografů) referoval na téma „*Možnosti náhrad tachografů*“.

Pplk. Ing. Aleš Maxa, (rada ŘSDP PP ČR) přispěl na téma „*Informace ohledně dopravních nehod a manipulace s tachografy*“.

Druhý den sekce tachografů zahájil *Ing. Jiří Novotný (Centrum dopravního výzkumu Brno)* příspěvkem na téma „*Termín 15. 6. 2019 a co s ním souvisí*“.

Ing. Karel Jelínek, přednášel na téma „*Digitální tachograf SE5000 II. generace (tzv. inteligentní) + DSRC*“.

Druhý den jednání sekce tachografy ukončil *Jan Hlavatý ze spol. TACHTEK Solutions*, příspěvkem na aktuální téma „*Digitální tachograf: DTCO 4.0 (tzv. inteligentní) + DSRC*“.

Rada přednesených příspěvků opětovně zdůraznila nutnost udržování a zvyšování odbornosti zaměstnanců AMS, vyvolanou neustálými změnami předpisů pro tachografy a inovacemi konstrukce tachografů a postupů jejich kontroly, rozvíjející se spolupráci s kontrolními orgány v oblasti dopravy, prohloubení vzájemné spolupráce při odhalování podvodů s digitálními tachografy.

Odborné semináře

Problematika oborů kalibrace jednotlivých veličin je probírána na samostatných odborných seminářích, které jsou

organizovány podle potřeby a stavu rozvoje oborů a převážně periodicky, aby se zachytil vývoj norem daných oborů, ale i potřebná opakovanost proškolení pro pracovníky laboratoří s delší praxí a informovanost pro nové pracovníky laboratoří.

ČKS ve spolupráce s ČMI uspořádal dne 9. dubna 2019 odborný seminář téma **kalibrace pracovních měřidel z oboru délka**, který se uskutečnil v přednáškovém sále Českého metrologického institutu v Brně. Seminář byl zaměřen hlavně na praktické provádění kalibrací a na pravidla pro uvádění výsledků měření, včetně způsobu zpracování nejistot měření při kalibracích. Probrána byla i metrologická terminologie používaná v oblasti měření délek i obecně platná pravidla pro podmínky prostředí při kalibraci měřidel z oboru délka. Součástí semináře byla prezentace nového státního etalonu geometrických rozměrů 3D objektů Zeiss Xenos, který pořídil Český metrologický institut s cílem rozšířit nabídku služeb v oblasti nejnáročnějších měření, zejména pro průmysl a který je umístěn v Laboratořích primární metrologie Praha.

Přednášejícími byli pracovníci Českého metrologického institutu.

Kromě dotazů na metodiky kalibrace měřidel posluchači projevíli zájem o problematiku vyjadřování shody (případně neshody) se specifikací, a to zejména v případech, kdy v nově vydávaných evropských normách nejsou stanovovány největší dovolené chyby měřidel, ani tyto specifikace není možno získat z jiných zdrojů (od výrobce, uživatele), ale vyhodnocení způsobilosti měřidla je od kalibrační laboratoře požadováno.

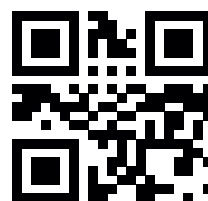
Nedostatečné specifikace metrologických charakteristik měřidel a mnohdy nesrozumitelně, a někdy i nejednotně nebo chybně přeložené texty nově vydávaných evropských norem jsou tedy stále tématem k diskusi.

S ohledem na výše uvedené skutečnosti bylo navrženo výboru Českého kalibračního sdružení najít způsob jakým zajistit doplnění nově vydaných norem např. národními dodatky, s cílem vrátit technickým normám jejich význam a vyhovující schopnost tak, aby byly pracovníkům oporou při vlastní práci i řešení případných sporů či reklamací.

ČKS plánuje do konce roku 2019

- **59. Odborná konference ČKS** se uskuteční ve dnech 22. 10. a 23. 10. 2019 tradičně v hotelu Skalský dvůr v Lísku u Bystřice nad Pernštejnem. Zvýrazněným oborem v odborné části bude problematika kalibračních listů a vyjadřování shody po revizi normy ISO/IEC 17025 a dokumentu ILAC G8.
- Seminář „**Elektrické veličiny**“ je plánován v prostorách akreditované kalibrační laboratoře MEROS Zubří (dříve Rožnov pod Radhoštěm) s předváděním kalibrací na zařízeních Meros. Termín konání 12. (a případně opakování i 13. listopadu – v případě většího počtu zájemců o tento seminář)

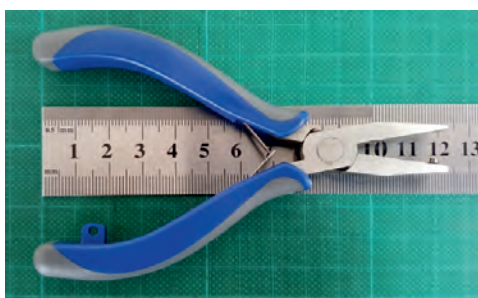
Podrobná nabídka všech akcí ČKS je upřesňována vždy pro následující pololetí a je trvale k dispozici na webové stránce ČKS, www.cks-brno.cz, e-mail: sekretar@cks-brno.cz. Na těchto stránkách naleznete rovněž další informace a odkazy.



VÝROBA KALIBRAČNÍCH ZNAČEK PRO METROLOGII a samolepicích štítků pro průmyslové využití

V naší stálé nabídce najdete více než 300 různých druhů kalibračních značek a štítků, které jsou neustále skladem. Standardní expedice skladových značek je 1 - 3 dny. Podle požadavku může být většina značek opatřena logem, QR kódem, případně identifikační značkou Vaší společnosti. Pokud požadovanou značku nenajdete v naší nabídce, pošlete nám i jen rukou provedený náčrt a obratem Vám zašleme cenovou nabídku a vypracujeme grafickou podobu značky.

Výrobou kalibračních značek se zabýváme 29 let a dosud jsme nezaznamenali požadavek, který bychom nebyli schopni splnit k plné spokojenosti zákazníka.



Coptis KALIBRAČNÍ ZNAČKY
značky, štítky a samolepky pro metrologické účely

Vzorník barev fólií
Samolepicí značky bez tisku.

Značky bez tisku - jakýkoliv tvar a velikost.

- Standardně jsou skladem kulaté značky 12 mm. Čísle štítky bez polskou jsou dodávány v daných barvách pod jednotlivými čísly barev.
- Čísla barev slouží současně i jako základní vzorník barev pro objednávky jakýchkoli jiných kalibračních značek a samolepek.
- Čísle štítky dodáváme v násobcích 50 ks / u průměru 12 mm / Na zakázku vyrobíme jakýkoliv tvar a velikost, cena je podle kalkulace.

Základní ceny

- jednotná cena standardní velikosti značky (12mm) je 0,32 Kč / kus
- u reflexní barvy 1,40 Kč/kus.
- u jiných velikostí cenu spočítáme
- Min. objednávk. množství je 50 - 150 ks - podle velikosti značky

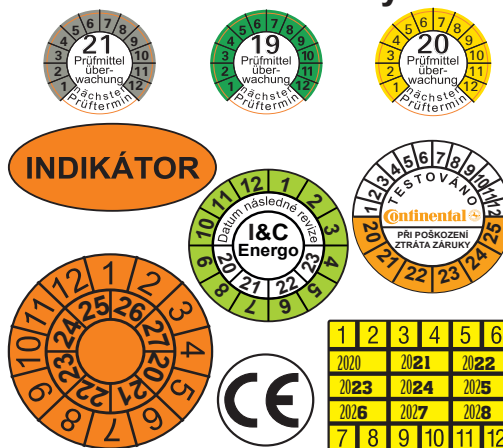
VZORNÍK BAREV FÓLIÍ

Název barvy	bílá	žlutá	červená	oranžová	fialová	modrá	zelená	šedá	reflexní
čísla barvy	10	22	31	35	43	53	64	74	39

[KATALOG KALIBRAČNÍCH ZNAČEK V PDF](#)

E-shop kalibračních značek najdete zde.

Přes 300 druhů kalibračních značek ze základní nabídky nakoupíte pohodlně od stolu v E-shopu na www.kalibracky.cz.



Tištěný katalog značek Vám zašleme na vyžádání, nebo si jej můžete stáhnout na www.kalibracky.cz ve formátu pdf.



PRACOVNÍ MĚŘIDLO STANOVENÉ



ZÁKAZ POUŽÍVÁNÍ

COPTIS spol. s r.o. • Halasova 629, 703 00 Ostrava-Vítkovice
Tel/fax: +420 596 111 682, e-mail: coptis@coptis.cz

www.kalibracky.cz

POTŘICÁTÉ

FOR ARCH

MEZINÁRODNÍ STAVEBNÍ VELETRH

www.forarch.cz

POMÁHÁME VAŠIM SNŮM...

PVA
EXPO PRAHA



OD PRVNÍHO TAHU...
...PO POSLEDNÍ ŽÁROVKU

17.-21. 9. 2019

GENERÁLNÍ
PARTNER



HLAVNÍ
ODBOŘNÝ
PARTNER



PARTNER
DOPROVDNĚNÉHO
PROGRAMU



www.tzb-info.cz

OFICIÁLNÍ
VOZY



Přikládejte ke čtečce kódem nahoru.
Vstupem do areálu vstupující osoba uděluje souhlas s pořízením záznamu své podoby a s jejím zveřejněním.

POTŘICÁTÉ
MEZINÁRODNÍ STAVEBNÍ VELETRH
POMÁHÁME VAŠIM SNŮM...



OD PRVNÍHO TAHU...
...PO POSLEDNÍ ŽÁROVKU

FOR ARCH

ČESTNÁ VSTUPENKA

NEPRODEJNÉ | Vstupenka neopravňuje k bezplatnému parkování.

www.forarch.cz

17.-21. 9. 2019

PVA
EXPO PRAHA

GENERÁLNÍ
PARTNER



HLAVNÍ
ODBOŘNÝ
PARTNER



PARTNER
DOPROVDNĚNÉHO
PROGRAMU



OFICIÁLNÍ
VOZY



NABÍDKA AKCÍ ČMS NA II. POLOLETÍ ROKU 2019



Česká metrologická společnost, z. s.
Novotného lávka 5, 110 00 Praha 1
tel./fax: 221 082 254
e-mail: cms-zk@csvts.cz
www.csvts.cz/cms

Nabídka akcí ČMS na II. pololetí 2019 bude průběžně aktualizována – aktuální informace budou zveřejňovány na www.csvts.cz/cms v menu „Odborné akce / ČMS připravuje.“

Místo a datum konání	Kód akce	Název akce
7. října 2019 ČSVTS Praha, učebna č. 318	K 556-19	Řízení metrologie v organizaci
29. října 2019 ČSVTS Praha, učebna č. 414	K 561-19	Aplikace normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2018

Další podrobnosti o připravovaných akcích včetně přihlášek ke stažení budou postupně uváděny na webových stránkách ČMS www.csvts.cz/cms v menu Odborné akce/ Kalendář akcí ČMS.

4. listopadu 2019 ČSVTS Praha, učebna č. 315	K 559-19	Měření v elektrotechnice
18. listopadu 2019 ČSVTS Praha, učebna č. 318	K 560-19	Nejistoty v nejistotách – teplota, tlak
20. listopadu 2019 Klub Lávka, Praha, Novotného lávka 1	Ko 557-19	2. Česko-Slovenské fórum metrologů a 21. Fórum metrologů
9. až 12. prosince 2019 ČSVTS Praha, učebna č. 501	K 558-19	51. Základní kurz metrologie



Redakční rada:

Ing. Zdeňka Pohořelá (předsedkyně), Mgr. Kristýna Vančurová (místopředsedkyně), Ing. Milan Badal, Prof. Ing. Jaroslav Boháček, DrSc., Mgr. Václava Holušová, Doc. Ing. Jiří Horský, CSc., Jitka Hrušková, Ing. František Jelínek, CSc., Ing. Jiří Kazda, Ing. Petr Pánek, CSc., RNDr. Klára Popadičová, Ing. Pavel Rubáš, Zdeňka Slaná, doc. RNDr. Jiří Tesař, Ph.D., Ing. Josef Vojtíšek.
Přizvaní: 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, Biskupský dvůr 1148/5, 110 00 Praha 1. IČO: 48135267. Povolení tisku: registrace MK ČR 6111, MIČ 46 676, ISSN 1210-3543.

Místo vydávání: Praha. Datum vydání: srpen 2019. 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:

Vzhled spodní části odličky s vnitřním napětím v temném poli polariskopu

Photo on the front page:

The appearance of the lower part of the tumbler with residual stress in the dark field of the polariscope

