

4/2019
ROČNÍK 28

METROLOGIE

VĚDECKÁ
LEGÁLNÍ
PRAKTICKÁ



VĚDA A VÝZKUM

prof. Ing. Jaroslav Boháček, DrSc.
Kapacitní etalony s keramickým dielektrikem1

**doc. Ing. Vít Zelený, CSc., doc. Ing. Ivana Linkeová Ph.D.,
Ing. Jakub Sýkora, ¹Pavel Skalník**
Vyhlášení souřadnicového měřicího stroje
ZEISS Xenos jako státního etalonu geometrických
rozměrů 3D objektů4

Ing. Leoš Vyskočil
Meranie elektrolytickej konduktivity8

doc. Ing. Emil Doupal, CSc., Ing. Jiří Novotný
Metodika pro dynamické měření rozměrů
vozidel (metrologický předpis)14

METROLOGIE V PRAXI

Ing. Andrej Haring
Manipulace s tachografy, vliv na některé
systémy nákladních vozidel19

doc. Ing. Jiří Horský, CSc.
Kalibrační list je vizitkou laboratoře –
část 424

Mgr. Kateřina Drbálková, Ing. Vítězslav Suchý
Tonometrie - část 1 – Mechanické a elektronické
kontaktní tonometry28

Ing. Josef Vojtíšek
Kalibrace měřidel tlaku – dokument EA-CG 17,
evropské normy a praxe.....32

Nabídka akcí ČMS na I. čtvrtletí roku 2020

SCIENCE AND RESEARCH

prof. Ing. Jaroslav Boháček, DrSc.
Capacitance Standards with a Ceramic Dielectric.....1

**doc. Ing. Vít Zelený, CSc., doc. Ing. Ivana Linkeová Ph.D.,
Ing. Jakub Sýkora, ¹Pavel Skalník**
Zeiss Xenos Coordinate Measuring Machine
Declared the National Standard of Geometrical
Dimensions of 3D Objects4

Ing. Leoš Vyskočil
Measuring the Electrolytic Conductivity8

doc. Ing. Emil Doupal, CSc., Ing. Jiří Novotný
The Methodology for the Dynamic Measurement
of Dimensions of Vehicles (Metrological Regulation)....14

METROLOGY IN PRACTICE

Ing. Andrej Haring
Tampering with Tachographs, Effect on Some
Truck Systems19

doc. Ing. Jiří Horský, CSc.
The Calibration Certificate Represents
the Laboratory - Part 424

Mgr. Kateřina Drbálková, Ing. Vítězslav Suchý
Tonometry - Part 1 - Mechanical and Electronic
Contact Tonometers28

Ing. Josef Vojtíšek
Calibration of Pressure Gauges - Document
EA-CG 17, European Standards and Practices.....32

The List of ČMS Events in the 1st Quarter of 2020

KAPACITNÍ ETALONY S KERAMICKÝM DIELEKTRIKEM

prof. Ing. Jaroslav Boháček, DrSc.,
Ing. Martin Šimůnek, Bc. Ladislav Bíba

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická

1. Úvod

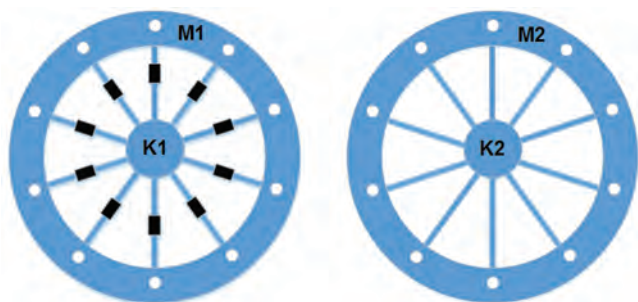
Při přesných měřeních elektrické kapacity se na katedře měření FEL ČVUT jako referenční etalony používají etalony s křemenným dielektrikem Andeen Hagerling AH 11A jmenovitých hodnot 10 pF a 100 pF, vzduchový kapacitní etalon Tettex 3320/1000 jmenovité hodnoty 1000 pF a vzduchové etalony Ulrich větších hodnot, jejichž nevýhodou však jsou velké rozměry a značná hmotnost (např. hmotnost etalonu typu 220 se jmenovitou kapacitou 100 nF je 70 kg).

Jako výsledek řešení úkolů Programu rozvoje metrologie č. VIII/16/18 a VIII/16/19 jsou nyní vedle zmíněných robustních etalonů Ulrich na katedře k dispozici též kompaktní kapacitní etalony hodnot 10 nF, 100 nF a 1 μ F realizované ze sad elementů pro povrchovou montáž s menšími kapacitami. Konkrétně jsou v těchto etalonech použity vícevrstvé kapacitní elementy s keramickým dielektrikem NP0 (COG), k jejichž hlavním přednostem patří zanedbatelný piezoelektrický šum, malá závislost kapacity na přiloženém napětí, malá teplotní závislost kapacity a její dobrá časová stálost.

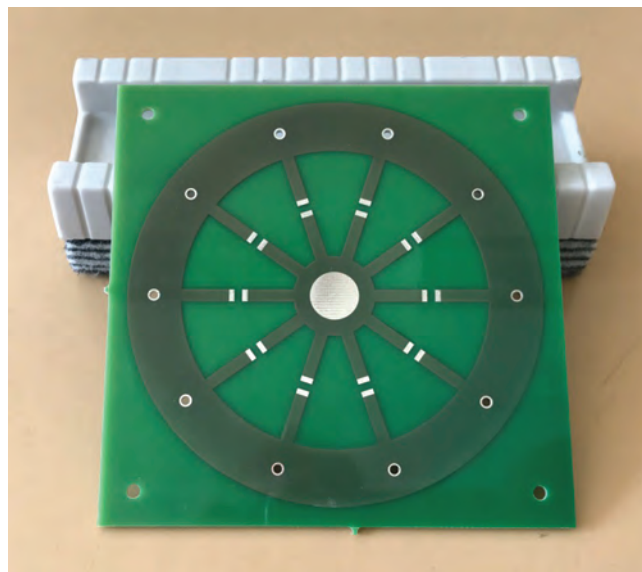
2. Etalony jmenovité hodnot 10 nF a 100 nF

Etalon jmenovité hodnoty 10 nF (etalon KE 10) obsahuje deset elementů KEMET C1206C102JCGACAUTO s kapacitami 1 nF, etalon jmenovité hodnoty 100 nF (etalon KE 100) deset elementů KEMET C1206C103JCGACAUTO s kapacitami 10 nF. Nosné struktury pro tyto elementy byly navrženy s ohledem na dosažení minimálního vlivu parazitních indukčností na kmitočtovou závislost hodnoty výsledného etalonu. Elementy jsou v obou případech umístěny na dvoustranné desce s plošnými spoji ITEQ -158 1,5 mm, 18 μ m Cu způsobem znázorněným na obr. 1, při kterém je vliv parazitních indukčností minimalizován jednak rotační symetrií uspořádání, jednak malými plochami smyček, kterými se uzavírají proudy tekoucí elementy.

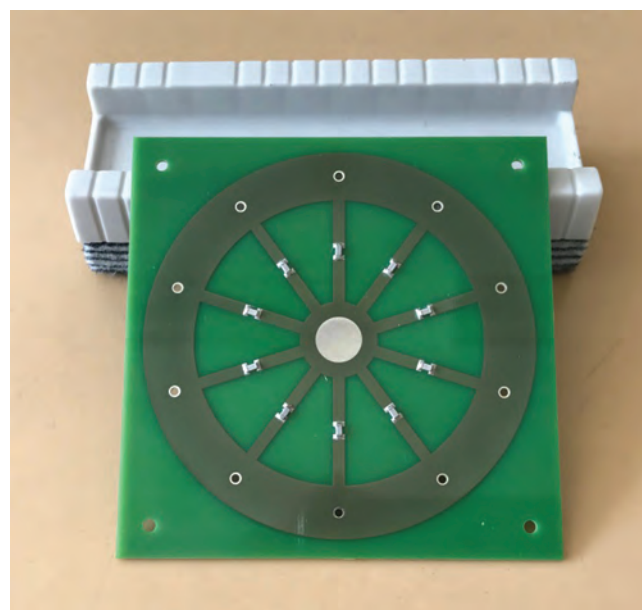
Obrazec plošných spojů je na jedné straně desky tvořen mezikruží M1, kruhovou ploškou K1 a deseti vějířovitě



Obr. 1: Umístění kapacitních elementů na jedné straně desky (vlevo) a obrazec plošného spoje na druhé straně (vpravo)



Obr. 2: Neosazená nosná deska kapacitních elementů



Obr. 3: Nosná deska osazená elementy s kapacitami 1 nF

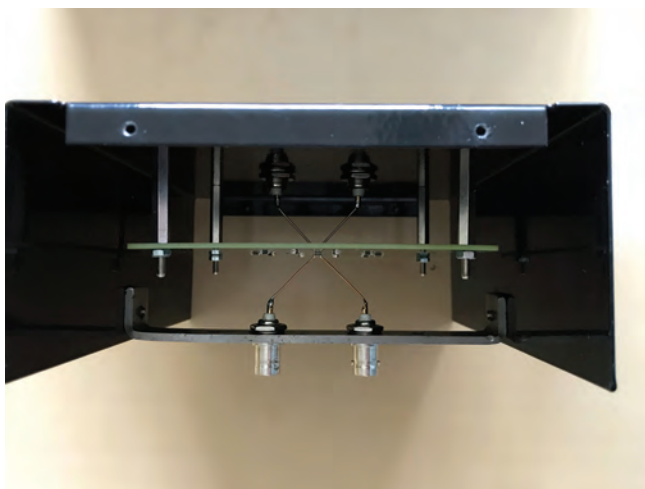
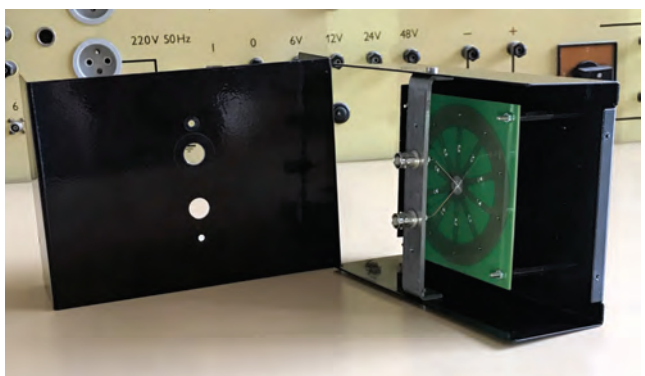
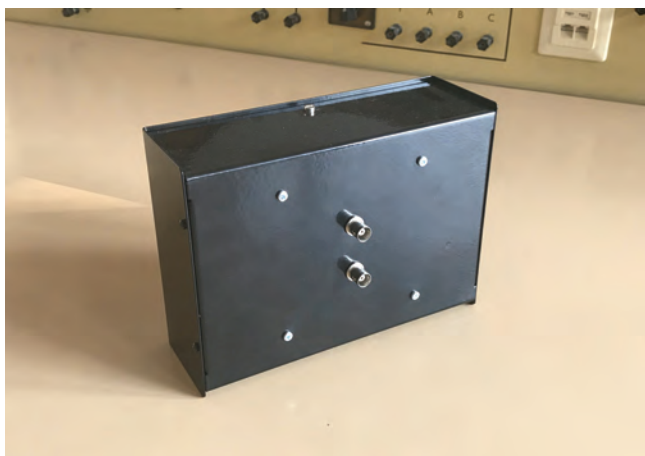
uspořádanými loukotěmi, z nichž každá je rozdělena na dvě části navzájem propojené připájeným kapacitním elementem. Mezikruží M2 a ploška K2 jsou pravoúhlým průmětem mezikruží M1 a plošky K1 na druhou stranu desky. Pomocí rovnoměrně rozmístěných pokovených otvorů je zajištěno vzájemné propojení mezikruží M1 a M2.

Vzhledem k tomu, že elementy KEMET C1206C102JCGACAUTO a elementy KEMET C1206C103JCGACAUTO mají stejné rozměry (délka 3,2 mm, šířka 1,6 mm, výška 0,9 mm), bylo možno při realizaci obou etalonů použít desky stejného provedení s identickými obrazy plošných spojů (konkrétně jsou v obou případech vnější průměry mezikruží M1, příp. M2 100 mm, šířky loukotí 3 mm a délky

jejich přerušení 1,8 mm). Fotografie neosazené nosné desky je na **obr. 2**, na **obr. 3** je tato deska osazená elementy s kapacitami 1 nF.

Stejně provedení mají i vodivé stínící kryty etalonů KE 10 a KE 100. Každý kryt je opatřen dvěma proudovými (HC a LC) a dvěma napěťovými (HP a LP) konektory BNC, přičemž konektory HC a HP jsou připojeny ke středu plošky K1, zatímco konektory LC a LP jsou připojeny ke středu plošky K2 (**obr. 4**).

Jako příklady výsledků měření, provedených na zkompletovaných etalonech KE 10 a KE 100 přesným měřičem LCR Keysight E49080AL, jsou na **obr. 5 a 6** znázorněny



Obr. 4: Osazená deska ve stínícím krytu

kmitočtové závislosti AC/DC diferencí (relativních odchylek od hodnot pro stejnosměrná napětí) paralelních ekvivalentních kapacit C_p etalonů v kmitočtovém pásmu do 1 MHz. Výpočtem pomocí regresních polynomů uvedených v grafech na **obr. 5 a 6** byly dále získány vyhlazené kmitočtové závislosti AC/DC diferencí pro kmitočtové pásmo do 100 kHz (**obr. 7 a 8**). Při kmitočtech 100 kHz a 1 MHz byly u etalonu KE 10 naměřeny ztrátové činitele $2,2 \cdot 10^{-4}$ a $1,7 \cdot 10^{-3}$, u etalonu KE 100 ztrátové činitele $4,2 \cdot 10^{-4}$ a $1,1 \cdot 10^{-2}$.

Hlavní příčinou růstu AC/DC diferencí kapacit C_p etalonů KE 10 a KE 100 s kmitočtem jsou indukčnosti smyček v propojovacích obzrcích kapacitních elementů. Z hlediska jejich vlivu na kmitočtovou závislost hodnoty C_p lze indukčnosti všech smyček přibližně nahradit jedinou sériovou parazitní indukčností, která má u etalonu KE 10 hodnotu 18 nH a u etalonu KE 100 hodnotu 23 nH.

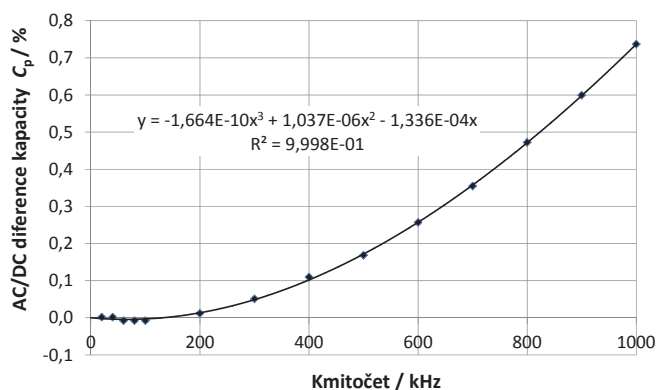
Kapacity vykazované zkompletovanými etalony KE 10 a KE 100 mají při kmitočtu 1 kHz a napětí 1 V teplotní koeficienty $-3,6 \cdot 10^{-4} \text{ %/}^\circ\text{C}$ a $-7,0 \cdot 10^{-5} \text{ %/}^\circ\text{C}$.

3. Etalon jmenovité hodnoty 1 μF

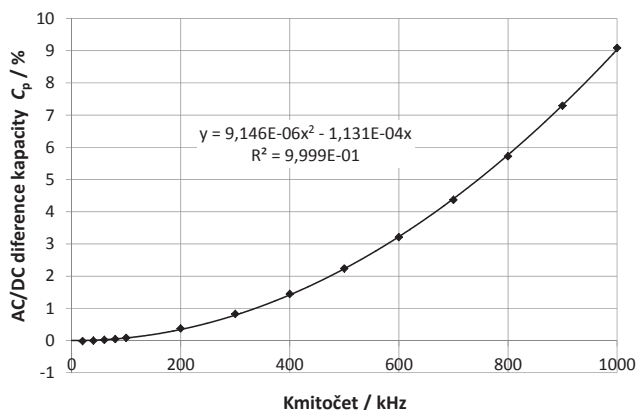
Etalon jmenovité hodnoty 1 μF (etalon KE 1000) obsahuje deset elementů KEMET C3040C104JCGCAUTO s kapacitami 100 nF a rozměry $7,6 \text{ mm} \times 10,2 \text{ mm} \times 2,5 \text{ mm}$, umístěných opět na dvoustranné desce s plošnými spoji ITEQ - 158 1,5 mm, $18 \mu\text{m Cu}$. Obrazce plošných spojů na lící a rubové straně této desky mají provedení patrné z **obr. 9**.

Použité kapacitní elementy jsou připájeny na lící straně desky přímo mezi propojovací mezikružím a střední kruhovou ploškou (**obr. 10**). Stínící kryt, do kterého je osazená deska namontována, má obdobné provedení, jako stínící kryty etalonů KE 10 a KE 100 (**obr. 11**).

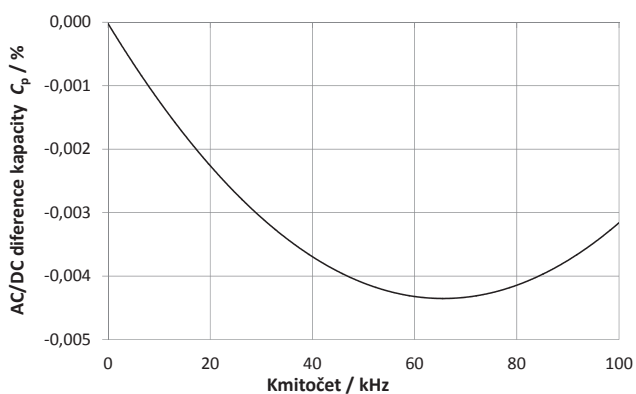
Na **obr. 12** je znázorněna kmitočtová závislost AC/DC diference paralelní ekvivalentní kapacity C_p etalonu naměřená přesným měřičem LCR Keysight E49080AL v kmitočtovém pásmu do 100 kHz. Při kmitočtu 100 kHz byl u etalonu naměřen ztrátový činitel $2,1 \cdot 10^{-3}$. Kapacita vykazovaná zkompletovaným etalonem KE 1000 má při kmitočtu 1 kHz a napětí 1 V teplotní koeficient $-7,7 \cdot 10^{-5} \text{ %/}^\circ\text{C}$.



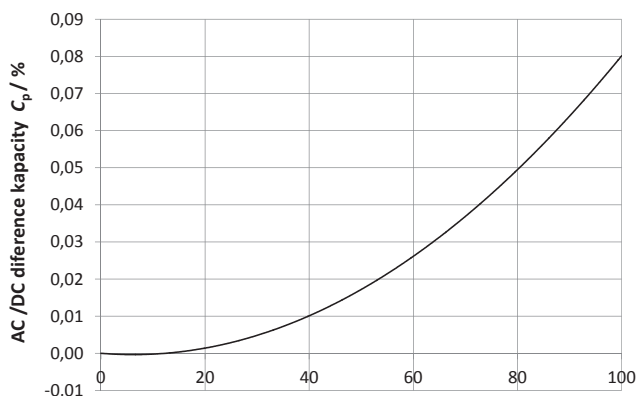
Obr. 5: AC/DC diference kapacity C_p etalonu KE 10 v kmitočtovém pásmu do 1 MHz a při napětí 200 mV



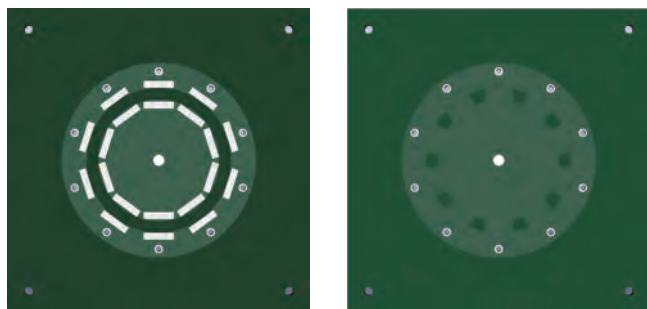
Obr. 6: AC/DC difference capacity C_p etalonu KE 100 v kmitočtovém pásmu do 1 MHz a při napětí 200 mV



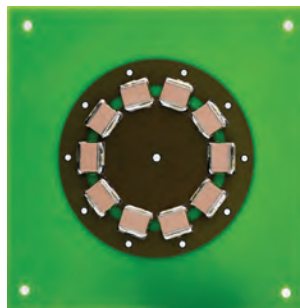
Obr. 7: AC/DC difference capacity C_p etalonu KE 10 v kmitočtovém pásmu do 100 kHz a při napětí 200 mV



Obr. 8: AC/DC difference capacity C_p etalonu KE 100 v kmitočtovém pásmu do 100 kHz a při napětí 200 mV



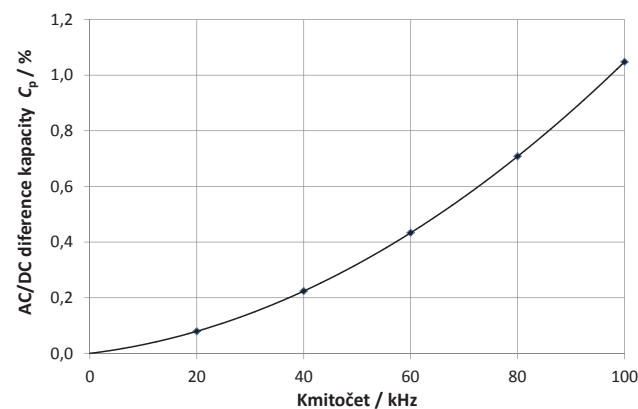
Obr. 9: Obrázce plošných spojů na lícni a rubové straně nosné desky elementů s kapacitami 100 nF. Vnější průměr spojovacího mezikruží je 70 mm



Obr. 10: Elementy s kapacitami 100 nF připájené na lícni straně desky



Obr. 11: Zkompletovaný etalon KE 1000



Obr. 12: AC/DC difference capacity C_p etalonu KE 1000 v kmitočtovém pásmu do 100 kHz a při napětí 20 mV

Závěr

Pro měření kapacit a ztrátových činitelů etalonů KE 10 až KE 1000 při napětích vyšších než 2 V, která již měřičem Keysight E49080AL nelze provést, bude realizován koaxiální C-C můstek [1, 2] vyvažovaný osmidekádrovými indukčními děliči napětí. Pomocí tohoto můstku pak budou v kmitočtovém pásmu od 50 Hz do 10 kHz, pro které jsou etalony KE 10 až KE 1000 především určeny, měřeny kapacity a ztrátové činitele těchto etalonů jejich postupným navázáním na etalon Andeen Hagerling AH 11A jmenovité hodnoty 100 pF se známými metrologickými charakteristikami (nejprve se na tento etalon naváže etalon Tettex 3320 jmenovité hodnoty 1000 pF, na etalon Tettex se naváže etalon KE 10, na etalon KE 10 se naváže etalon KE 100 a konečně se na etalon KE 100 naváže etalon KE 1000).

Počítá se s realizací termostátovaných verzí etalonů KE 10 až KE 1000.

Literatura

- [1] Awan S., Kibble B., Schurr J.: Coaxial electrical circuits for interference-free measurements. IET Electrical Measurement Series 13. IET, Londýn 2011.
- [2] Boháček J.: Metrologie, 3. přepracované vydání. Česká technika – nakladatelství ČVUT, Praha 2019.

VYHLÁŠENÍ SOUŘADNICOVÉHO MĚŘICÍHO STROJE ZEISS XENOS JAKO STÁTNÍHO ETALONU GEOMETRICKÝCH ROZMĚRŮ 3D OBJEKTŮ

¹doc. Ing. Vít Zelený, CSc.,

²doc. Ing. Ivana Linkeová, Ph.D.,

¹Ing. Jakub Sýkora, ¹Pavel Skalník

¹Oddělení technické délky LPM ČMI

²Ústav technické matematiky, FS ČVUT v Praze

Abstrakt

Článek přináší informace o novém státním etalonu geometrických rozměrů 3D objektů, kterým je souřadnicový měřicí stroj ZEISS XENOS. Tento nový státní etalon je základem nepřerušovaného řetězce metrologické návaznosti veškerých geometrických rozměrů měřitelných na prostorových objektech nejen pravidelného tvaru (rovina, koule, válec, ...), ale i velmi komplikovaného tvaru, jako jsou např. ozubená kola, turbínové lopatky a povrchy složitěho obecného tvaru (freeform povrchy).

Úvod

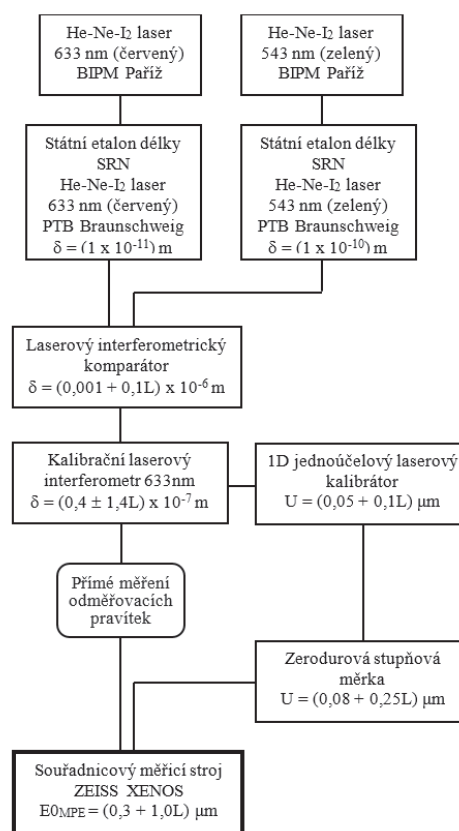
Stále se zvyšující tlak předních průmyslových společností na stále přesnější kalibrace jak souřadnicových měřicích strojů, tak také artefaktů, které se ke kalibraci používají, vedl k rozhodnutí o pořízení nového dotykového souřadnicového měřicího stroje, jehož kvality by splnily požadavky na plnění funkce státního etalonu geometrických rozměrů 3D objektů v České republice. Český metrologický institut (ČMI), který v rámci fundamentální metrologie zajišťuje uchovávání a rozvoj státních etalonů a výzkum a vývoj v metrologii, pořídil koncem roku 2017 dotykový souřadnicový měřicí stroj ZEISS XENOS s výjimečnými metrologickými kvalitami. Stroj byl instalován ve speciální klimatické komoře a 7. února 2018 na něm bylo slavnostně zahájeno měření a kalibrace pro vědecké i průmyslové účely [1]. V průběhu roku 2018 byly prostudovány potřebné dokumenty a zpracována Zpráva č. 8015-ZV-C0001-18 o etalonu geometrických rozměrů 3D objektů v rozsahu délky do 2500 mm [2], která představuje základní dokument pro zahájení řízení o vyhlášení stroje ZEISS XENOS jako státního etalonu. Tato zpráva byla 25. září 2018 přednesena na vědecké radě Úřadu pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), kde byl návrh na nový státní etalon přijat. Rozhodnutím ÚNMZ ze dne 2. ledna 2019 byl souřadnicový měřicí stroj ZEISS XENOS schválen jako státní etalon geometrických rozměrů 3D objektů.

Definice etalonu

Etalon geometrických rozměrů 3D objektů slouží k zjištění rozměrů prostorových (3D) objektů (hmotných těles, výrobků, artefaktů). Rozměrem se rozumí vzdálenost dvou geometrických útvarů v prostoru (dvou bodů, roviny a bodu, apod.). Načtení geometrických útvarů (bodů, mraků bodů) se děje citlivou dotykovou sondou v souměřitelnosti s měřicítky

stroje a vyhodnocovacím software. Zjišťovaný rozměr má jednotku délky jeden metr, ale vyjadřuje se v dílech této jednotky (milimetr, mikrometr, nanometr). Jednotka délky jeden metr je definována jako vzdálenost, kterou proběhne světlo ve vakuu za 1/299 792 458 sekundy. Tato definice je také uvedena v zákoně o metrologii č. 505/1990 Sb.

Zjišťování rozměru se na etalonu uskutečňuje pomocí měřitek, která jsou zabudována do všech tří os stroje (jedná se o osy x , y , z kartézského souřadnicového systému). Měřítka stroje, která jsou nositelem jednotky délky, splňují návaznost až na etalon délky, He-Ne-I₂ laser 633 nm BIPM Paříž, jak dokládá schéma návaznosti, uvedené na obr. 1. V současné době probíhá v ČMI výzkum, jehož výsledkem bude zajištění návaznosti etalonu geometrických rozměrů 3D objektů na státní etalon délky České republiky, a dále na etalon délky He-Ne-I₂ laser 633 nm BIPM Paříž.



Obr. 1: Schéma návaznosti etalonu.

Konstrukce a vlastnosti etalonu

Podle informací dostupných od výrobce je konstrukce etalonového souřadnicového měřicího stroje ZEISS XENOS s integrovaným otočným stolem od základu nová a vychází z 20leté zkušenosti vývojářů a zákazníků společnosti Carl ZEISS Industrielle Messtechnik GmbH (ZEISS). Ve stroji je využito několik patentů společnosti ZEISS. Rozlišitelnost

pravítek je srovnatelná s dosud nejpřesnějším odměřováním v ose pomocí laserových interferometrů, kde se dosahuje rozlišitelnosti 1 nm. Pro komponenty důležité pro přesnost se na stroji ZEISS XENOS používá inovativní keramika z karbidu křemíku. Dosud nebyl tento materiál ve srovnatelné velikosti komponent a přesnosti téměř použit. Na rozdíl od běžné keramiky z oxidu hlinitého poskytuje keramika z karbidu křemíku asi o 50 % nižší tepelnou roztažnost, až o 30 % vyšší tuhost a o 20 % nižší hmotnost. V porovnání s ocelí zajišťuje dvojnásobnou tuhost při poloviční hmotnosti. Důležitá jsou také optimalizovaná vzduchová ložiska, která zlepšují stabilitu a přispívají tak k vyšší přesnosti a opakovatelnosti. ZEISS XENOS je standardně osazen aktivní referenční ZEISS snímací hlavou VAST GOLD určenou pro snímače do délky 800 mm a do hmotnosti 500 g, a to i pro asymetrické konfigurace snímačů. Měřicí software ZEISS CALYPSO je určen pro měření pravidelných geometrických prvků, rozšíření o modul GEAR PRO potom umožňuje měření ozubených kol na souřadnicovém měřicím stroji.

Fotografie stroje a jeho parametry jsou uvedeny na **obr. 2**.



- Lineární pohony ve všech třech osách s měřicím rozsahem x 900 mm, y 1500 mm, z 630 mm
- Integrovaný otočný stůl s nosností 600 kg
- Maximální chyba při měření délek dle ISO 10360-2:2009: $E_0 = (0,3 + L/1000) \mu\text{m}$, kde L je délka v mm
- Maximální chyba snímání při skenování dle ISO 10360-4:2000: $THP = 0,6 \mu\text{m}$ za 40 s
- Maximální chyba tvaru jednotlivého doteku dle ISO 10360-5:2010: $PFTU = 0,4 \mu\text{m}$
- Maximální chyba při měření tvaru (kruhovitost) dle ISO 12181-1 a 12181-2:2011: $RON_t = 0,3 \mu\text{m}$
- Maximální dovolená chyba čtvrté osy dle ISO 10360-3:2000 $FR = 1,5 \mu\text{m}$, $FT = 1,5 \mu\text{m}$, $FA = 1,2 \mu\text{m}$

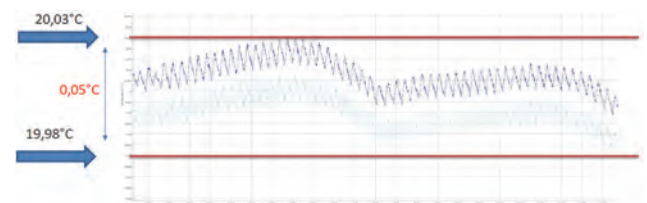
Obr. 2: Specifikace souřadnicového měřicího stroje ZEISS XENOS

Podmínky prostředí provozu etalonu

Etalonový stroj ZEISS XENOS je instalován v klimatické komoře, která je umístěna v místnosti č. 650 v ČMI OI Praha Radiová, **obr. 3**. V klimatické komoře je pomocí autonomní klimatizační jednotky udržována teplota a vlhkost vzduchu podle aktuálně požadovaného nastavení. Pomocí této sestavy lze dosáhnout dlouhodobé stability teploty v měřicím prostoru stroje $20 \pm 0,1^\circ\text{C}$, **obr. 4**.



Obr. 3: Klimatická komora s etalonovým strojem ZEISS XENOS



Obr. 4: Detail grafického záznamu monitorování teploty v měřicím prostoru stroje během 48 hodin

Stanovení nejistoty měření

Nejistoty měření etalonu vycházejí zejména ze specifikace výrobce, **obr. 2**. Tato specifikace jednoznačně definuje limity zařízení pro měření rozměrů a je třeba ji vždy zohlednit. Ve výjimečných případech, například s použitím substituční metody dle ČSN EN ISO 15530-3 (Geometrické specifikace produktu (GPS) – Souřadnicové měřicí stroje (CMM): Metody určování nejistoty měření – Část 3: Použití kalibrovaných obrobků nebo etalonů), lze uvažovat nejistoty nižší. V tomto případě je ale třeba provést rozbor všech známých vlivů a kvantifikovat jejich vliv na celkovou nejistotu měření. Konkrétní aplikace tohoto postupu je popsána v [3] při kalibraci stupňových měrek.

Hlavním a neopomenutelným vlivem při délkových měřeních obecně je vždy teplota, která ovlivňuje relativní část nejistoty měření. Další známé vlivy při souřadnicovém měření jsou:

- Specifikace výrobce
- Kvalifikace snímacího systému
- Nejistota kalibrace kalibrační koule
- Nejistota kalibrace materiálových čidel teploty
- Drsnost povrchu měřeného objektu
- Znalost koeficientu teplotní roztažnosti objektu

Další možností, jak stanovit nejistotu měření, je využití softwarového modulu virtuálního měřicího stroje. Tento softwarový modul obsahuje simulační procedury, které pomocí stochastické metody Monte Carlo umožňují stanovit nejistotu měření pro některé měřicí úlohy. Modul obsahuje aktuální podrobnou mapu reziduálních geometrických chyb stroje, na jejímž základě simuluje skutečné měření, kde vyhodnocuje chybu každého jednotlivého bodu. Tyto chyby spolu s dalšími vlivy jsou automaticky započítány do výsledné hodnoty nejistoty měření.

Základní nejistota měření definovaná lineární rovnicí vychází ze specifikace výrobce

$$EO_{MPE} = (0,3 + L/1000) \mu\text{m}, L \text{ je délka v m.}$$

Nejlepší měřicí schopnost laboratoře definovaná druhou odmocninou ze součtu kvadrátů konstantní a lineárně závislé části je stanovena rozpočtem

$$U = Q[0,09; 0,5L] \mu\text{m}, L \text{ je délka v m,}$$

tedy

$$U = \sqrt{0,09^2 + (0,5L)^2} \mu\text{m}, L \text{ je délka v m.}$$

Verifikace kvality metrologických vlastností

Kvalita metrologických vlastností se verifikuje na základě mezilaboratorního porovnání naměřených výsledků pomocí kritéria, které je určeno vztahem

$$E_n = \frac{|X_R - X_L|}{\sqrt{U_R^2 + U_L^2}}.$$

Zde X_R je rozměr změřený v referenční laboratoři, X_L je rozměr změřený v testované laboratoři, U_R je rozšířená nejistota měření referenční laboratoře a U_L je rozšířená nejistota měření testované laboratoře. Při vyhodnocení pomocí kritéria E_n je třeba, aby

$$E_n \leq 1,$$

má-li testovaná laboratoř úspěšně obstát v mezilaboratorním porovnání. Čím menší je hodnota E_n , tím přesnější je výsledek naměřený testovanou laboratoří.

V případě etalonového stroje ZEISS XENOS bylo provedeno mezinárodní dvoustranné mezilaboratorní porovnání mezi ČMI a PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt – národní metrologický institut v SRN) při měření kruhovitosti, přímosti a rovnoběžnosti na univerzálním zkušebním válci (průměr 55 mm, výška 300 mm) zobrazeném na **obr. 5**.

Hodnoty E_n dosažené při měření kruhovitosti (ve výšce 30 mm, 90 mm, 150 mm, 210 mm a 270 mm), přímosti (podél površek v 0°, 90°, 180° a 270°) a rovnoběžnosti (mezi dvěma protilehlými površkami v 0° - 180° a 90° - 270°) jsou uvedeny v **tab. 1**, grafy odchylek potom na **obr. 5** až **obr. 8**. Kruhovitosť byla vyhodnocována vzhledem ke dvěma kružnicím – MZC (Minimum Zone Circle) a LSC (Least Squares Circle). Vysvětlení obou metod je uvedeno v sekci Vyhodnocení měření kruhovitosti.

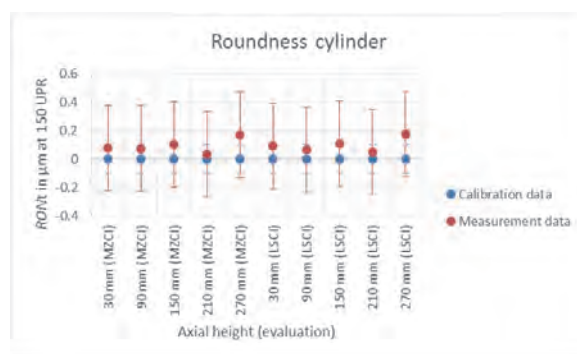
Protože číselné hodnoty E_n v **tab. 1** vycházejí velmi malé (od 0,1 do 0,5), je zřejmé, že lze pracovat v určitých případech i s podstatně lepšími nejistotami měření než uvádí výrobce, a že nejlepší měřicí schopnost etalonového stroje byla verifikována.



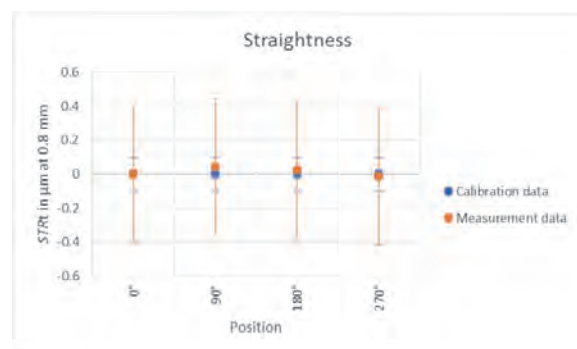
Obr. 5: Univerzální zkušební válec

Tab. 1: Hodnoty E_n dosažené při mezilaboratorním porovnání s PTB

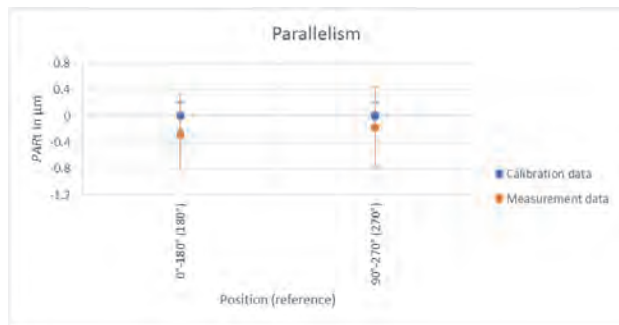
Měřená veličina	Kruhovitosť				
	30 mm	90 mm	150 mm	210 mm	270 mm
Výška	30 mm	90 mm	150 mm	210 mm	270 mm
E_n pro MZC	0,3	0,3	0,4	0,2	0,6
E_n pro LSC	0,3	0,3	0,4	0,2	0,6
Měřená veličina	Přímosť				
	0°	90°	180°	270°	
Površka	0°	90°	180°	270°	
E_n	0,1	0,1	0,1	0,1	
Měřená veličina	Rovnoběžnosť				
	Pár protilehlých površek	0° - 180°	90° - 270°		
E_n	0,5	0,3			



Obr. 6: Měření kruhovitosti



Obr. 7: Měření přímosti



Obr. 8: Měření rovnoběžnosti

Vyhodnocení měření kruhovitosti

Při mezilaboratorním porovnání s PTB byla kruhovitosť vyhodnocena dvěma metodami, a to vzhledem ke kružnici LSC vypočtené metodou nejmenších čtverců a vzhledem ke kružnici MZC vypočtené z minimální šířky mezikružjí. Rozdíl mezi těmito dvěma metodami je následující:

- Kružnice vypočtená metodou nejmenších čtverců LSC (obr. 9a): množinou měřených bodů

$$M_i = (x_i, y_i), i = 1, \dots, n,$$

se proloží kružnice se středem $C = (x_C, y_C)$ a poloměrem r tak, aby součet druhých mocnin (čtverců) vzdáleností každého měřeného bodu od této kružnice byl minimální.

Vzdálenost d_i bodu $M_i = (x_i, y_i)$ od kružnice je dána

$$d_i = r_i - r = \sqrt{(x_i - x_C)^2 + (y_i - y_C)^2} - r.$$

Neznámé souřadnice středu x_C, y_C kružnice a poloměr r se naleznou pomocí kritéria

$$\sum_{i=1}^n d_i^2 \rightarrow \min.$$

- Kružnice vypočtená z minimální šířky mezikružjí MZC (obr. 9b): přiřazená kružnice minimalizuje odchylku tvaru, což odpovídá kritériu minimálního pásma. Kružnice se středem $C = (x_C, y_C)$ má takový poloměr r , aby maximální ze vzdáleností všech naměřených bodů od přiřazené kružnice byla minimální.

Vzdálenost r_i naměřeného bodu $M_i = (x_i, y_i)$ od středu kružnice je

$$r_i = \sqrt{(x_i - x_C)^2 + (y_i - y_C)^2}.$$

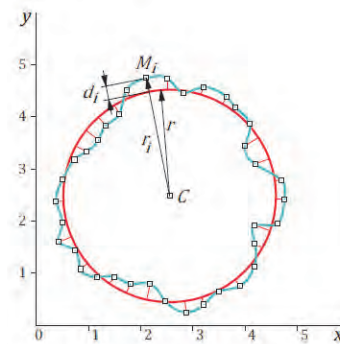
Minimální pásmo je mezikružjí se středem C a poloměry r_{\max} a r_{\min} . Střed C a poloměry r_{\max} a r_{\min} a se určí pomocí kritérií, která musí současně platit

$$\min(r_i) \rightarrow \max \Rightarrow r_{\min}, \max(r_i) \rightarrow \min \Rightarrow r_{\max},$$

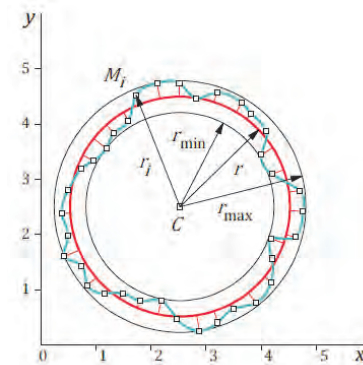
$$r_{\max} - r_{\min} \rightarrow \min.$$

Přiřazená kružnice má zjištěný střed C a poloměr r , který je aritmetickým průměrem poloměrů r_{\max} a r_{\min} , tedy

$$r = \frac{r_{\max} + r_{\min}}{2}.$$



Obr. 9a: Kružnice vypočtená metodou nejmenších čtverců LSC



Obr. 9b: Kružnice vypočtená minimální šířkou mezikružjí MZC

Závěr

Souřadnicový měřicí stroj ZEISS XENOS vyhověl všem zákonem stanoveným požadavkům na státní etalon a byl vyhlášen za státní etalon geometrických rozměrů 3D objektů. Tím se stal základním prvkem řetězce metrologické návaznosti do průmyslu a je připraven k plnění nejnáročnějších metrologických úloh nejen v České republice, ale i na mezinárodní úrovni. Tuto skutečnost dokládá i zapojení oddělení Technické délky ČMI do dvou mezinárodních projektů, ve kterých je stroj ZEISS XENOS nasazen. Jde o projekt z oblasti normalizace 17NRM03 EUCoM – Standards for the evaluation of the uncertainty of coordinate measurements in industry a projekt zaměřený na IoT (Internet of Things) síť 17IND02 SmartCom – Communication and validation of smart data in IoT-networks.

Použitá literatura:

- [1] V. Zelený: Slavnostní zahájení měření na souřadnicovém měřicím stroji ZEISS XENOS v ČMI, In: Metrologie, Vol. 27, 2018, No. 2, p. 11-12
- [2] V. Zelený, J. Sýkora, P. Skalník, I. Linkeová: Zpráva č. 8015-ZV-C0001-18 O etalonu geometrických rozměrů 3D objektů v rozsahu délky do 2500 mm, Český metrologický institut, 2018.
- [3] V. Zelený, I. Linkeová, J. Sýkora, P. Skalník: První zkušenosti s měřením na souřadnicovém měřicím stroji ZEISS XENOS v ČMI, In: Metrologie, Vol. 27, 2018, No. 4, p. 11-16

MERANIE ELEKTROLYTICKEJ KONDUKTIVITY

Ing. Leoš Vyskočil

Slovenský metrologický ústav

Úvod

Meranie konduktivity patrí medzi elektrochemické metódy. Je to metóda pri ktorej sa meria konduktivita roztoku. Hodnota konduktivity závisí od množstva iónov v roztoku a teda charakterizuje celý objem roztoku.

Meranie konduktivity je využívané v mnohých odvetviach. Konduktometria je jednou z najpoužívanejších a najspoľahlivejších metód na sledovanie čistoty vôd, či už destilovanej, demineralizovanej alebo napájacích vôd v cirkulačných systémoch v energetike (vrátane jadrovej). Hojne sa využíva vo vodárenstve, zdravotníctve, potravinárskom priemysle, chemickom priemysle, drevárskom priemysle, v oceánografii (salinita) ... apod.

História

Vedenie elektrického prúdu v kovových vodičoch (vodiče I. triedy) je sprostredkované voľnými valenčnými elektrónmi, ktoré kovy veľmi ochotne poskytujú. Skutočnosť, že vodné roztoky sú vodivé tiež, hoci v nich neexistujú žiadne voľné elektróny, začal zamestnávať fyzikov a fyzikálnych chemikov už koncom 19. storočia. Výsledkom ich snaženia bol poznatok, že vedenie elektrického prúdu je sprostredkované tiež nabitými časticami, ale iónmi. Iónovú vodivosť elektrického prúdu majú roztoky elektrolytov¹, taveniny, pevné elektrolyty, koloidné systémy a ionizované plyny. Ich vodivosť je v porovnaní s kovovými vodičmi malá a na rozdiel od kovov s rastúcou teplotou stúpa.

Prvé merania konduktivity roztokov elektrolytov boli spojené s riešením prvého teoretického problému elektrochemie – objasniť mechanizmus vedenia elektrického prúdu cez roztoky elektrolytov. Priekopníkom merania vodivosti je Friedrich Kohlrausch, ktorý sa touto problematikou zaoberal na prelome 19. a 20. storočia. Otázka o mechanizme vedenia elektrického prúdu cez roztoky elektrolytov bola objasnená práve na základe vodivostných meraní. Friedrich Kohlrausch [6] uskutočnil v rokoch 1869-1880 celý rad dôkladných vodivostných meraní. Jeho zásluhou bola podstatne zdokonalená meracia aparatura. Typické pre túto nesmierne dôkladnú prácu bolo dlhé čistenie vody, ktorá mala byť použitá ako rozpúšťadlo. Po 42 opakovaných destiláciách vo vákuu sa podarilo získať tzv. vodivostnú vodu, ktorej konduktivita mala hodnotu $k = 4,3 \mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$ pri 18°C . Bežná destilovaná voda v laboratóriu má konduktivitu obyčajne medzi (100 až 200) $\mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$.

Práve Kohlrauschove práce v oblasti vodivosti elektrolytov a práce Júliusa Thomsena o neutralizačných teplotách kyselín a zásad priviedli Svante Arrhénia v roku 1887 ku formulácii disociačnej teórie elektrolytov [6].

Primárna realizácia veličiny

Pre elektrolytickú konduktivitu κ možno písať vzťah:

$$\kappa = \frac{1}{R} \cdot \int_0^l \frac{dx}{S(x)}, \quad (1)$$

kde R - nameraný odpor [Ω],
 $S(x)$ - aktuálny prierez vodivostného článku [m],
 l - vzdialenosť medzi elektródami [m],
 dx - element dĺžky vodivostného článku [m].

Hodnota integrálu charakterizuje geometrické vlastnosti vodivostného článku a označuje sa ako konštanta vodivostného článku \mathbf{K} . V prípade primárnych meraní je snaha používať jednoduché geometrické tvary, ktoré výpočet integrálu zjednodušujú. V prípade meracieho článku valcovitého tvaru sa vyčíslenie integrálu redukuje na podiel dĺžky a prierezu:

$$\mathbf{K} = \frac{l}{S} = \frac{4 \cdot l}{\pi \cdot d^2} \quad (2)$$

kde \mathbf{K} - konštanta vodivostného článku [m^{-1}]
 l - dĺžka vodivostného článku [m]
 S - prierez vodivostného článku [m^2]
 d - vnútorný priemer trubice [m]

Pri praktickej realizácii jednotky elektrolytickej konduktivity sa meria v nádobke valcovitého tvaru, pri rôznych vzdialenostiach elektród od seba. Existujú dva prístupy k realizácii etalónu. Prvý bol vypracovaný pracovníkmi NIST² [10, 11] a spočíva v zaradení trubice s presne zmeranými rozmermi (dĺžka, priemer) medzi elektródy. Druhý spôsob bol vypracovaný a realizovaný v PTB³ a je založený na zmene vzdialenosti elektród pomocou mikrometrickej skrutky.

Meranie pomocou kalibrovanej trubice

Meranie odporu sa robí v článku podľa obr. 2 s trubicou a bez trubice. Rozdiel odporov ΔR zodpovedá dĺžke trubice Δl a výsledná konduktivita sa vypočíta podľa jednoduchého vzťahu:

$$\kappa = \frac{\Delta l}{S \cdot \Delta R} \quad (3)$$

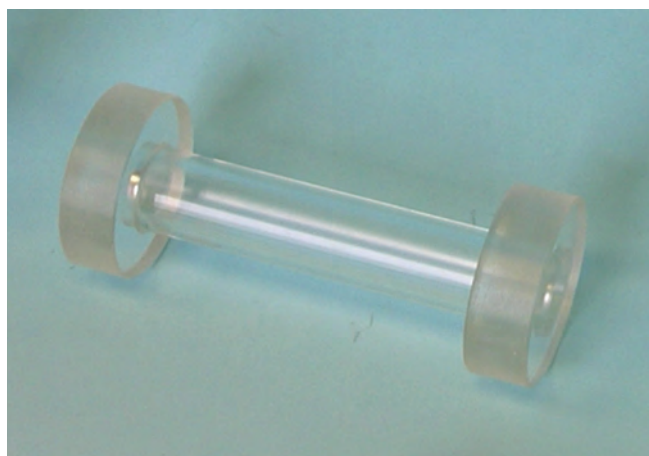
kde Δl - dĺžka trubice
 ΔR - zmena odporu zodpovedajúca Δl
 S - prierez trubice

Protíahlé konce trubice sú planparalelne zabrusené a vyleštené do vysokého lesku. Tým je zabezpečené, že roztok v zmontovanej nádobke nevyteká von.

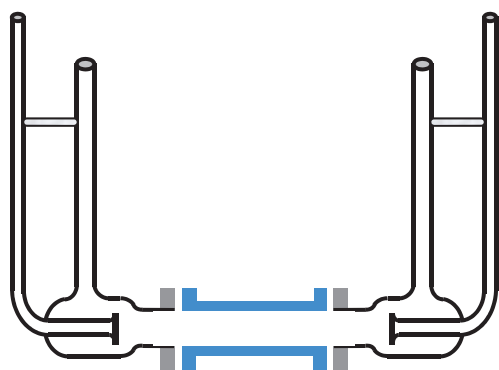
1 Elektrolyt je zlúčenina, ktorá je v roztoku alebo tavenine prítomná v podobe iónov.

2 National Institute of Standards and Technology (USA)

3 Physikalisch-Technische Bundesanstalt (DEU)



Obr. 1: Trubica používaná pri primárnej realizácii elektrolytickej konduktivity



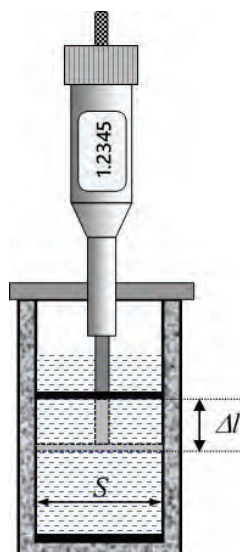
Obr. 2: Schematická zostava meracieho článku



Obr. 3: Primárny merací článok SMU

Meranie pomocou pohyblivej elektródy

Trochu iný prístup mali v PTB. Jedna elektróda je nepohyblivá a druhú elektródu možno posúvať pomocou mikrometrickej skruty. Materiál nádoby je buď zo skla, alebo zo špeciálnej nenasiakavej keramiky. Na dne je pritmelená jedna platínová elektróda. Druhá elektróda je spojená so zariadením, schopným merať zmeny dĺžky na úrovni mikrometrov. Výhodou tohto prístupu je to, že možno merať pri viacerých polohách elektród od seba. Zariadenie sa však nedá



Obr. 4: Princíp merania konduktivity pomocou pohyblivej elektródy

Keď si rovnicu (3) upravíme na tvar (4), získame vzťah:

$$\frac{\Delta I}{S} = \kappa \cdot \Delta R \quad (4)$$

Ak vynesieme $\frac{\Delta I}{S}$ oproti ΔR , získame priamku prechádzajúcu počiatkom. Smernica tejto priamky priamo udáva hodnotu elektrolytickej konduktivity κ .

Meranie s pomocou ortuťi

V súvislosti s primárnou realizáciou veličiny treba určite spomenúť prácu Jonesa a Bradshawa [4]. Autori uskutočnili svoje meranie v roku 1933. Prácu spomínam preto, lebo predstavuje elegantný *metrologický* prístup k primárnemu meraniu v dobe, keď ešte neexistovali „systém kvality“ ani „nadväznosť“ ako úradne záväzné pojmy pre meranie. V tom čase bol ohm primárne definovaný ako stĺpec ortuťi 106,300 cm majúci hmotnosť 14,4521 g a hustotu 13,5951 g·cm⁻³ pri 0 °C. Z týchto údajov bolo možné získať hodnotu konduktivity ortuťi. Prepočítané na dnešný systém jednotiek: 1,06296 MS·m⁻¹. Autori pomocou ortuťi okalibrovali vodivostný článok s veľkou konštantou. V tomto článku okalibrovali konduktivitu asi 30% H₂SO₄. Pomocou kyseliny okalibrovali ďalší článok už s menšou konštantou. Ďalej tento postup opakovali už s roztokmi KCl. Touto metódou postupných kalibrácií sa dostali až ku hodnotám konduktivity, ktoré boli zaujímavé pre meranie v praxi.

Po ukončení práce na etalóne NIST boli Jonesove [4] hodnoty verifikované [11] a bola dosiahnutá veľmi dobrá zhoda. Hodnoty boli prevzaté v IUPAC [12] ako základné roztoky pre kalibráciu konduktometrov.

V súčasnosti sa dáva prednosť kalibrácii konduktometrov pomocou CRM (certifikované referenčné materiály). Teoreticky je možné kalibrovať prístroj pomocou svojpomocne

4 Približne pri tejto koncentrácii dosahuje kyselina sírová maximum vodivosti.

pripravených roztokov. Má to však dve nevýhody. Jedna je legislatívna (nemáme certifikát o kalibrácii ani informáciu o nadväznosti). Druhá nevýhoda spočíva v tom, že hlavne pri vyšších nárokoch na presnosť musia byť roztoky pripravené z extrémne čistých surovín (KCl, H₂O), ktoré nie sú najlacnejšie a nie je vylúčená ani chyba pri príprave, ktorú nemáme ako identifikovať.

Faktory vplývajúce na meranie konduktivity

Znalosť faktorov vplývajúcich na meranie je užitočnou súčasťou prípravy na správne meranie. Dôležité je nielen poznať ich, ale aj vedieť posúdiť veľkosť ich vplyvu na meranú veličinu. Tieto poznatky sú dôležité ako pri príprave merania, tak aj následne pri bilancovaní celkovej neistoty výsledku.

Vplyv koncentrácie

Tok prúdu cez roztok sa uskutočňuje prostredníctvom iónov. Čím bude v roztoku viac iónov, tým bude vodivosť väčšia. Koncentrácia teda vplyva na vodivosť pozitívne. Toto tvrdenie však nie je jednoznačné, pretože koncentrácia nepolárnych látok (napr. močovina, sacharóza...) ovplyvňuje vodivosť iba nepriamo zmenou viskozity roztoku.

V prípade elektrolytov hodnota konduktivity rastie s koncentráciou spočiatku približne lineárne (asi do 10%), potom sa vplyvom asociácie iónov začína zakrivovať. Pri veľmi dobre rozpustných elektrolytoch pozorujeme často, že závislosť konduktivity od koncentrácie dosahuje maximum, v ktorom začína prevažovať asociácia iónov nad disociáciou. Ďalším zvyšovaním koncentrácie konduktivita roztoku dokonca klesá. Tento jav pozorujeme napríklad pri NaOH, KOH, HCl, HNO₃, H₂SO₄ a pod. U elektrolytov, ktorých rozpustnosť je menšia ako vodivostné maximum toto pozorované nebolo (napr. KCl, NaCl a pod.).

Vplyv rozpúšťadla

Rozpúšťadlo sa podieľa značnou mierou na výslednej konduktivite roztoku. Vo väčšine prípadov sa používa voda, ktorá má relatívne vysokú hodnotu permitivity a silne polárny charakter. Väčšina elektrolytov v nej dobre disociuje a roztoky sú relatívne dobre vodivé. Okrem polaritý rozpúšťadla má veľký vplyv aj viskozita rozpúšťadla. Z toho dôvodu možno pozorovať v niektorých nevodných roztokoch vyššie pohyblivosti iónov, ako vo vodných (navyše sa tam neuplatňuje hydratacia). Pri rozpúšťadlách s relatívnou dielektrickou konštantou vyššou ako 30 je už charakter vodivosti podobný vodnému prostrediu.

Vplyv teploty

Teplota ovplyvňuje prakticky každú fyzikálnochemickú veličinu. Výnimku netvorí ani konduktivita. Teplota je jedným z najneprijemnejších faktorov pri meraní konduktivity a priamo ovplyvňuje celkovú dosiahnuteľnú presnosť merania. Na rozdiel od vodičov I. triedy, vodivosť elektrolytov s teplotou neklesá, ale rastie. Teplota vplyva nepriamo na viac faktorov. S rastom teploty sa zväčšuje objem roztoku. V dôsledku toho klesá koncentrácia, čo má za následok

pokles vodivosti. S teplotou rastie aj medzi iónové pôsobenie, ktoré podporuje asociáciu iónov. V dôsledku toho vodivosť opäť klesá. Tieto príspevky však nie sú však veľmi významné. S teplotou rastie disociačný stupeň. Väčšie množstvo iónov v roztoku znamená vyššiu vodivosť. S teplotou prudko klesá hodnota dynamickej viskozity. V menej viskóznom prostredí sú ióny pohyblivejšie a vodivosť je vyššia.

Ako vidieť, mechanizmov teplotnej závislosti je veľa. exaktný vzťah teplotnej závislosti by bol zrejme veľmi zložitý a v praxi nepoužiteľný. Preto sa teplotná závislosť najčastejšie vyjadruje formou mocninového radu. Vzhľadom na konvenčnú štandardnú teplotu 25 °C má tvar:

$$\kappa_t = \kappa_{25} \left[1 + \alpha (t - 25) + \beta (t - 25)^2 + \dots \right] \quad (5)$$

pre malé rozmedzie teplôt možno členy vyššieho rádu zanedbať a uvažovať iba lineárny člen. V súvislosti s teplotnou závislosťou konduktivity je definovaný teplotný koeficient α ako pomer dotyčnice závislosti konduktivita – teplota a aktuálnej hodnoty konduktivity κ_t :

$$\alpha_t = \left(\frac{\delta \kappa}{\delta t} \right)_t \cdot \frac{1}{\kappa_t} \quad (6)$$

V prípade lineárnej závislosti pri 25 °C je teplotný koeficient totožný s koeficientom α vo vzťahu (4). Keď si vyjadríme teplotný koeficient v %, možno ho interpretovať o koľko % meranej vodivosti sa táto zmení, ak sa teplota zmení o 1 °C. Pri väčšine elektrolytov sa jeho hodnota pohybuje okolo hodnoty 2 %.

Vplyv napätia a frekvencie

V elektrickom poli intenzity 10⁶ V·m⁻¹ vznikajú odchýlky od Ohmového zákona a mólová vodivosť značne stúpa. Pri tak veľkom potenciálovom gradiente je rýchlosť iónov tak veľká, že ióny opúšťajú iónovú atmosféru skôr, než by sa mohla obnoviť. V dôsledku toho sa neuplatňuje ani elektroforetický efekt ani efekt relaxácie. Mólová vodivosť dosahuje limitnú hodnotu⁵ Λ° . Pri meraní vysokými frekvenciami (5 až 10 MHz) sa ión pohybuje po krátkych dráhach a neopúšťa oblasť iónovej atmosféry. Nedochoádza k zániku a opätovnej tvorbe iónovej atmosféry, takže sa efekt relaxácie neuplatňuje.

Roztoky s definovanou konduktivitou

Pri výskumoch konduktivity prakticky všetci autori používali roztoky založené na báze chloridu draselného. KCl figuruje aj pri príprave štandardnej morskej vody a v celom rade elektrochemických aplikácií. Príčinou je možno dostupnosť čistej substancie, alebo skôr fakt, že draselné a chloridové ióny majú približne rovnakú pohyblivosť.

5 Mólová vodivosť Λ je pomer konduktivity a koncentrácie. Limitná mólová vodivosť Λ° sa týka hypotetického neko-nečne zriedeného roztoku, kde neexistuje vzájomná interakcia iónov.

V prvých prácach o konduktivitě boli používané tzv. molárne roztoky – počet mólov KCl na 1 L roztoku. V priebehu času sa presnosť merania konduktivity zvyšovala a presnosť koncentrácie začala zaostávať. Vtedy sa začali používať tzv. „demálne“ roztoky (pripravené pri 0°C), kde bol vylúčeneň vplyv teploty na objem. V súčasnosti sa od objemovej prípravy upustilo a roztoky sa pripravujú vážením jednotlivých substancií. Presnosť prípravy tým vzrástla asi o dva rády. Dokument IUPAC [12] uvádza výsledky už v molálnej stupnici – počet mólov KCl na 1 kg vody. Bohužiaľ, zdroje, z ktorých dokument čerpal, uvádzajú iba tri koncentrácie roztokov, čo je pre kalibráciu lineárnej škály prístroja málo. Použitím viacerých zdrojov bola vytvorená tabuľka, ktorá je na SMÚ používaná doteraz a prevzali ju aj niektoré ďalšie metrologické inštitúty. V tabuľke sú podklady pre prípravu roztokov o definovanej konduktivitě. Predpokladom je vysoká čistota substancií (aspoň 99,99 %). Väčšina roztokov bola kontrolovaná primárnymi metódami, takže akýsi náznak „nadväznosti“ tieto roztoky majú. Tabuľku však uvádzam skôr ako pomôcku pre orientačnú kalibráciu konduktometra.

Tab. 1: Navážky KCl pre prípravu roztokov s definovanou konduktivitou.

Konduktivita [S·m ⁻¹]	Hmotnosť KCl na 1 kg vody [g]
0,005	0,025226
0,01	0,050719
0,05	0,258850
0,1	0,525088
0,5	2,768544
1	5,732306
2	11,97153
5	32,10161
10	68,16624

Konduktivita v praxi

Ako bolo spomenuté, vedenie elektriny cez roztoky je sprostredkované iónmi. Ión putuje cez roztok v elektrickom poli ku elektróde. Katióny ku katóde a anióny ku anóde. Na rozdiel od kovových vodičov, kde sa náboj elektrónu vybieja na elektróde a nič viac sa nedeje, v prípade elektrolytov to tak nie je. Vybitie náboja na elektróde je spojené s chemickou premenou. Ak roztokom putuje chloridový ión Cl⁻, po dosiahnutí anódy a strate náboja vzniká chlór. Tým sa mení charakter povrchu elektródy a samozrejme aj jej potenciál. Preto prvé merania vodivosti robené jednosmerným prúdom zlyhali. Zdalo sa, že Ohmov zákon v prípade elektrolytov neplatí. Tieto problémy odstránilo až použitie striedavého prúdu. Pretože sa polarita prúdu neustále mení, vplyv elektrolyzy ja silne potlačený. Nie však úplne. Hoci sa predpokladá, že odpor má ohmický charakter, meranie ukázali určitú frekvenčnú závislosť. Akoby bola prítomná nejaká prídavná kapacitná zložka. Tento jav bol študovaný Shedlovským [8], ktorý prišiel na to, že vinníkom je dvojvrstva, ktorá sa vytvorí vždy, keď je do roztoku elektrolytu ponorený kovový vodič. Pri striedavo prúde sa neustále nabíja a vybíja.

Výsledkom je akési „zaostávanie“ vektora napätia za vektorom prúdu. Parker nazval tento jav polarizačným efektom. V dôsledku polarizačného efektu sa skomplikovalo meranie konduktivity roztokov, pretože na meranie sa nedal použiť jednoduchý most ale bolo nutné vyvažovať odporovú aj kapacitnú vetvu. Tento jav je výraznejší pri vysokých koncentráciách. V náhradnej schéme je kapacita dvojvrstvy akoby v sérii s ohmickým odporom roztoku. Zvýšenie frekvencie tento jav potlačuje.

Na druhej strane merací článok predstavuje dve kovové elektródy a medzi nimi vodný roztok s pomerne vysokou permitivitou. Pri veľmi malých koncentráciách elektrolytu sa merací článok chová ako nekvalitný kondenzátor paralelne pripojený k veľkému ohmickému odporu roztoku. Potlačenie tejto zložky kapacity je možné znížením frekvencie.

Výrobcovia konduktometrov problém síce nevyriešili, ale aspoň sa čiastočne prispôsobili. Moderné konduktometre pracujú pri vyšších hodnotách konduktivity pri frekvencii rádovo kHz, pre malé hodnoty konduktivity boli zvolené frekvencie v oblasti okolo desiatok až stoviek Hz. Na štastie presnosť priemyselných meradiel tieto javy prakticky neovplyvňujú. Jednoznačným riešením je kalibrácia meradla. Tieto efekty sú zahrnuté do kalibrácie a korigovaný údaj meradla sa blíži k správne.

Konduktometre

Samotná vodivosť nie je vhodná na klasifikáciu roztokov. Rovnaký roztok môže vykazovať rôzne hodnoty vodivosti v rôznych meracích článkoch. Preto bola zavedená *konduktivita* (špecifická vodivosť), ktorá je pre daný roztok charakteristická a je vzťahovaná k určitej geometrii článku⁶. Pri praktickom používaní sa ukázalo, že ani táto veličina nedáva jednoznačné výsledky. Dôvodom bola silná teplotná závislosť veličiny. Riešením bolo zaviesť akúsi referenčnú teplotu, ku ktorej by boli merania vzťahované. Bola zvolená teplota 20 °C. tým bol vplyv teploty eliminovaný a výsledky meraní bolo možné použiť na charakterizáciu roztokov. Neskôr sa referenčná teplota zmenila na 25 °C pre všetky fyzikálno-chemické veličiny. Niektoré konduktometre majú dodnes možnosť prepnutia referenčnej teploty na 20 °C alebo 25 °C.

Funkciu konduktometra možno popísať rovnicou:

$$K_{25} = \frac{K \cdot G_t}{1 + \alpha \cdot (t - 25)} \quad (7)$$

- kde **K** - konštanta vodivostného článku
[m⁻¹] - (nastavovací prvok prístroja)
G_t - vodivosť meraná pri teplote t
[S]
 α - teplotný koeficient
[K⁻¹] - (nastavovací prvok prístroja)
t - aktuálna teplota
[°C] - (vstavaný teplomer)

⁶ Konduktivita je vodivosť kocky s hranou jeden meter, kde dve protiľahlé plochy sú vodiče prvej triedy a sú voči roztoku inertné.

Vzťah (7) predstavuje operačnú rovnicu konduktometra platiacu bez ohľadu na princíp funkcie merania. Prístroj zmeria vodivosť G_1 a na základe hodnôt nastavovacích prvkov a známej hodnoty teploty prepočíta výsledok na konduktivitu pri štandardnej teplote (obvykle 25°C) a výsledok zobrazí na displeji.

Sonda moderného konduktometra má obyčajne zabudovaný *teplomer*. Na základe snímanej teploty robí prístroj automatický prepočet na štandardnú teplotu. Ďalej má prístroj nastaviteľnú hodnotu *konštanty vodivostného článku* a nastaviteľný *teplotný koeficient*. Z praktických dôvodov sú meracie sondy väčšinou konštruované ako ponorné.

Kalibrácia a justovanie konduktometra

Hoci s ú tieto dve operácie dosť príbuzné, predsa je medzi nimi rozdiel. V chemickej praxi sa ustálili termíny, ktoré sú z hľadiska metrologickej terminológie nesprávne.

Kalibrácia (calibration) je činnosť, pri ktorej sa určuje vzťah medzi hodnotami indikovanými meradlom a zodpovedajúcimi hodnotami veličín, ktoré sú realizované etalónmi. Výsledkom kalibrácie je buď graf, tabuľka korekcií, kalibračná funkcia apod...

Justovanie (adjustment) je uskutočnenie určitých operácií na meracom systéme, takže poskytuje správnu indikáciu zodpovedajúcu hodnote meranej veličiny. Výsledkom justovania je teda správne merajúce meradlo.

Z toho plynie, že výrobcami bežne používaný termín „kalibrácia konduktometra“, pri ktorej sa použije referenčný materiál a kalibračným prvkom sa nastaví na displeji prístroja hodnota konduktivity referenčného materiálu je v skutočnosti *justovanie* prístroja.

Kalibrácia vyzerá tak, že sa zoberie najustovaný konduktometer a premeria sa sada roztokov so známou hodnotou konduktivity (napr. CRM⁷) a zobrazí sa kalibračná tabuľka, prípadne kalibračná funkcia v ktorej je pre každú aktuálnu hodnotu konduktivity priradená hodnota indikácie prístroja. Na základe takej tabuľky alebo funkcie je potom možné korigovať meraný výsledok. Túto činnosť je lepšie zveriť kalibračnému laboratóriu.

V prípade správne *najustovaného* konduktometra sa hodnoty nastavovacích prvkov prístroja kryjú so skutočnými hodnotami daných veličín. Tento stav charakterizuje rovnica:

$$\kappa' = \kappa \cdot \frac{\mathbf{K}' \cdot (1 + \alpha \cdot (t - 25))}{\mathbf{K} \cdot (1 + \alpha' \cdot (t' - 25))} \quad (8)$$

Čiarkované symboly sa týkajú prístroja, nečiarkované symboly zodpovedajú skutočným hodnotám, pričom κ je konduktivita α je teplotný koeficient a t je teplota. Keď sú konštanty článku \mathbf{K}' a teplotný koeficient α' nastavené na prístroji správne a keď prístroj meria správne aj teplotu t' , obidva zlomky na pravej strane rovnice sú rovné jednej a údaj konduktivity na displeji κ' je zhodný so skutočnou hodnotou konduktivity κ . Prístroj je správne *najustovaný*. Vzťah (8) možno použiť aj na korekciu prístroja, ktorého vstavaný teplomer vykazuje odchýlku, ktorú nevieme eliminovať.

⁷ CRM – certifikovaný referenčný materiál.

Osobitným problémom pri nastavení konduktometra je hodnota teplotného koeficienta α . Ten má pri každej vzorke inú hodnotu, ktorá obyčajne nie je známa. Jeho hodnota sa dá aspoň približne stanoviť meraním tej istej vzorky pri dvoch teplotách. Jedna teplota môže byť aktuálna t_1 a na druhú teplotu t_2 vzorku možno zohriať napríklad aj rukou. Pri každej teplote sa prečíta údaj prístroja. Pre odhad hodnoty teplotného koeficienta sa použije vzťah:

$$\alpha \approx \frac{\kappa_2 - \kappa_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{2}{\kappa_2 + \kappa_1} \quad (9)$$

Justovanie konduktometra sa uskutočňuje prostredníctvom CRM. Postup justovania je všeobecne známy a býva súčasťou návodu na použitie prístroja. Pri veľkej rozmanitosti prístrojov sa líšia aj justážne postupy. Stupnica elektrolytickej konduktivity je lineárna. Na jej realizáciu v prístroji postačujú dva body. Jedným je vždy nula, ktorú musí konduktometer ukazovať pri rozpojených kontaktoch. Druhý bod sa realizuje pomocou CRM.

Neistota pri meraní konduktivity

Výpočet neistoty vychádza z postupu merania. V prvej fáze sa prístroj justuje pomocou CRM, ktorý má neistotu, ktorá je dostupná z certifikátu. Pri justovaní sa nastaví hodnota konštanty vodivostného článku. Nebudem uvádzať celé odvoodenie. Výsledný vzťah zohľadňuje signifikantné vplyvy a má tvar:

$$u_{\kappa} = \sqrt{u_{CRM}^2 + 2u_{Pr}^2 + 2(\kappa_{25} \cdot \alpha u_t)^2 + u_A^2} \quad (10)$$

- kde: u_{κ} - neistota nameranej hodnoty konduktivity,
 u_{CRM} - neistota hodnoty CRM, použitého na justovanie prístroja,
 u_{Pr} - neistota z rozlíšenia prístroja,
 u_t - neistota teplotného údaja,
 u_A - opakovateľnosť merania; (neistota typu „A“),
 α - teplotný koeficient.

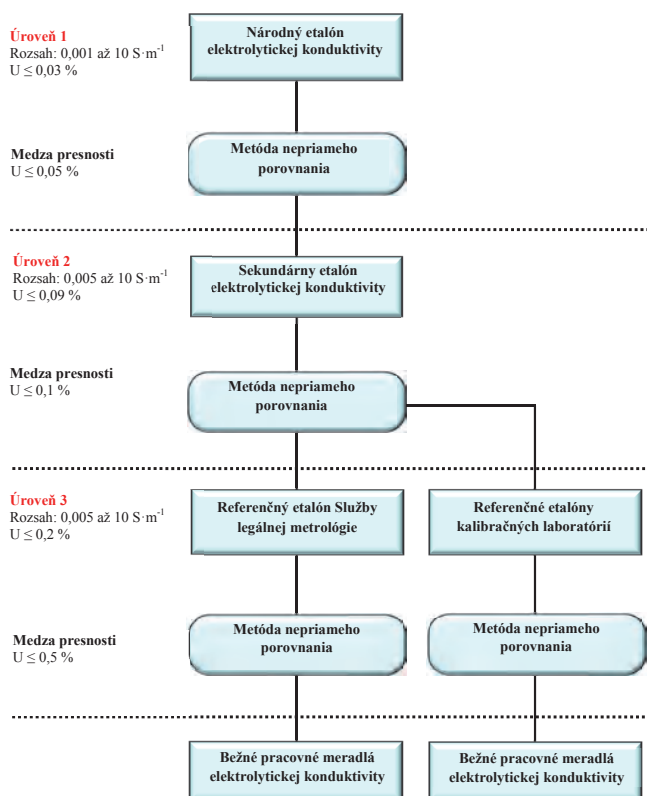
Dvojnásobné hodnoty niektorých členov vyjadrujú skutočnosť, že sa uplatnili ako pri justácii, tak pri meraní. Stojí za povšimnutie, že teplotný príspevok sa mení s hodnotou meranej konduktivity.

Schéma nadväznosti elektrolytickej konduktivity

Podľa odporúčania OIML [14] majú schémy nadväznosti dve časti. Jedna je tabuľková, v ktorej sú prehľadne v okienkach uvedené jednotlivé etalóny a druhá je textová, v ktorej sú jednotlivé okienka vysvetlené a popísané. Etalóny sa uvádzajú v obdĺžnikovom okienku. Spôsob prenosu jednotky je uvádzaný v oválnom okienku.

Každá úroveň je charakterizovaná rozsahom a neistotou, pri čom neistoty sa uvádzajú dve. Jedna je neistota realizácie etalónu (niečo ako BMC) a druhá je neistota s akou je laboratórium schopné uskutočniť prenos jednotky (niečo, ako CMC).

Na obr. 5 je uvedená grafická časť schémy. Text na obrázku vznikol priamym prekladom, takže niektoré termíny z 37 rokov starého dokumentu sa môžu zdať nepresné.



Obr. 5: Schéma nadväznosti jednotky elektrolytickej konduktivity⁸

Salinita

Jednou z aplikácií, kde konduktometria vyhrala na celej čiare, je stanovenie salinity. Salinita bola prvý raz definovaná v roku 1902 ako celkové množstvo tuhého materiálu obsiahnutého v 1 kg morskej vody. Začiatkom 20 storočia bola salinita meraná chemickou titráciou na obsah chloridov. V rokoch 1950 až 1960 už bolo jasné, že táto metóda rozhodne nie je uspokojivé riešenie pre získanie presných výsledkov potrebných pre trasovanie vodných mäs v oceánoch. Odparovanie a váženie odparku nebolo praktické ale ani dosť presné v dôsledku tepelnej dekompozície niektorých zložiek. Pretože soli sú vo vode rozpustené, ponúkali sa metódy zamerané na meranie roztokov. Jednou z nich bolo aj meranie vodivosti. Výhodou bolo, že vodivosť zahŕňa príspevky všetkých prítomných solí, ktoré sú schopné disociovať.

V roku 1978 bola dohodnutá tzv. praktická stupnica salinity. Meria sa vodivosť morskej vody a vzťahuje sa ku tzv. štandardnej morskej vode *SSW* (standard sea water), ktorej salinita má hodnotu 35. Pôvodne to bola voda odobieraná za definovaných podmienok z určitých častí oceánu ďaleko od brehu. V terajšej definícii je reprezentovaná vodným roztokom KCl obsahujúcim 32,4356 g KCl v 1 kg roztoku.

Praktická stupnica používa bezrozmernú jednotku niekedy označovanú ako *psu* (practical salinity units).

$$S = 0,0080 - 0,1692 \cdot K_{15}^{0,5} + 25,3851 \cdot K_{15} + 14,0941 \cdot K_{15}^{1,5} - 7,0261 \cdot K_{15}^2 + 2,7081 \cdot K_{15}^{2,5} \quad (11)$$

Argumentom K_{15} v rovnici (11) je pomer konduktivity vzorky morskej vody a konduktivity *SSW* merané pri 15 °C.

Meranie salinity pomocou merania konduktivity je pomerne presné, pretože sa meria v pomerne úzkom rozsahu ($5 \pm 0,5$) S·m⁻¹, kde sa v dôsledku pomerného merania veľa rušivých vplyvov navzájom eliminuje. Pre kalibráciu postačuje jediný roztok *SSW*, ktorý je veľmi blízky meranej hodnote.

Záver

Článok sa zaoberá meraním elektrolytickej konduktivity. Sú popísané metódy primárnej realizácie etalónov konduktivity a rôzne vplyvy na hodnotu meranej veličiny. Ďalej je popísaná funkcia konduktometra a postupy merania, aby výsledky merania v praxi zodpovedali reálnym hodnotám. Sú rozobrané témy nadväznosti, justáže a kalibrácie meradiel v danej oblasti a je uvedený príklad využitia merania konduktivity pri oceánografických výskumoch.

Literatúra

- [1] Berčík J.: Vodivostné a dielektrické merania v chemickej analýze. SVTL Bratislava. (1962)
- [2] ISO; Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, (1993)
- [3] Jones, G., Bollinger, G. H.: J. Am. Chem. Soc. 53,411, (1931)
- [4] Jones, G., Bradshaw, B. C.: J. Am. Chem. Soc. 55,1780, (1933)
- [5] Lopatin B. A.: Konduktometrija, AN ZSSR, Novosibirsk, (1964)
- [6] Moore, W. J.: Fyzikální chemie, SNTL Praha (1979)
- [7] Parker, H. C., Parker, E. W.: J. Am. Chem. Soc. 46,312, (1924)
- [8] Shedlovsky, T.: J. Am. Chem. Soc. 52,1793, (1930)
- [9] Vyskočil, L.: Primárny etalón elektrolytickej konduktivity. Metrológia a skúšobníctvo, 5,23, (2000)
- [10] Wu Y. C., Koch W. F., Feng D., Holland L. A., Juhász E., Árvay E., Tomek A.: J. Res. NIST 99,1241, (1994)
- [11] Wu Y. C., Pratt K. W., Koch W. F.: J. Sol. Chem. 18,515, (1989)
- [12] Pure Appl. Chem., Vol. 73, No. 11, pp. 1783–1793, (2001)
- [13] Y. C. Wu, K. W. Pratt, W. F. Koch. J. Solution Chem. 18, 515–528 (1989)
- [14] OIML D 5; „Principles for the establishment of hierarchy schemes (1982)

⁸ V schéme nadväznosti sú uvedené relatívne rozšírené neistoty.

METODIKA PRO DYNAMICKÉ MĚŘENÍ ROZMĚRŮ VOZIDEL (METROLOGICKÝ PŘEDPIS)

doc. Ing. Emil Doupal, CSc., Ing. Jiří Novotný

Centrum dopravního výzkumu v.v.i

1. Cíle projektu

Některé systémy pro kontrolu rozměrů vozidel pracují na principu scannerů vozidel, které jsou osazeny nad jednotlivými jízdními pruhy a jsou schopny sejmout profil vozidla s vysokou spolehlivostí.

Systém pro monitorování výšky vozidel se skládá z měřicí soustavy, která zajišťuje 3D rozměry vozidel, kamerového systému, zaznamenává a identifikuje jednotlivá měřená vozidla a rozváděče, ve kterém jsou umístěny napájecí zdroje, datový switch – vyhodnocovací jednotka s měřicím a dokumentačním software a komunikační rozhraní pro napojení systému k uživateli.

Měřicí soustava zaznamenává 3D kontury vozidel, jedoucích pod portálem, ze kterých jsou stanoveny rozměry vozidla. Měřicí senzory se typicky umísťují na portál nad vozovku.

Naměřená data jsou zpracovávána pomocí algoritmů ve výpočetní jednotce. Systém je také vybaven algoritmy pro klasifikaci vozidel do tříd, což upřesňuje informaci o tom, zda vozidlo překročilo povolený rozměrový limit.

Vzhledem k povaze, principu a využití měřicího systému „Free Flow Profiling System“ od firmy SICK (dále jen FFPS SICK) pro účely automatického určování výšek motorových vozidel v běžném silničním provozu, je třeba rozdělit měření, potažmo metrologickou návaznost, tohoto systému na dvě části. První část se zabývá měřením rozměrů statických objektů a určením směrodatné odchylky výsledných veličin (výšky, šířky a popřípadě délky objektu). Ve druhé části byla ověřena přesnost dynamických měření na pohyblivých se objektech a zároveň se určila závislost směrodatných odchylek rozměrů objektu (výšky, šířky a délky) na rychlosti objektu.

Cílem projektu CDV v.v.i bylo připravit podklady pro ČMI, které následně zpracovalo „Metodiku pro dynamické měření rozměrů vozidel“ (metrologický předpis).

2. Popis instalace a dokumentace stavu před a po instalaci

Název a umístění v lokalitě

Mýtná brána 2458 - E 52 KM 6,5 – Brno Modřice ve směru z Brna (obr. 1).

2.1 Technické řešení

Rozmístění jednotlivých částí systému je patrné z výkresové dokumentace.

Všechny prvky systému byly mechanicky uchyceny takovým způsobem, aby nedošlo k mechanickému poškození stávajících konstrukcí a jejich povrchových úprav.

Scannery byly instalovány na opačné straně portálu než detektory mýtné brány:

- SICK LMS Width 1 – pravá strana pravého jízdního pruhu, mimo jízdní pruh,
- SICK LMS Length 1 – osa pravého jízdního pruhu,
- SICK LMS Width 2 - levá strana pravého jízdního pruhu, mimo jízdní pruh.

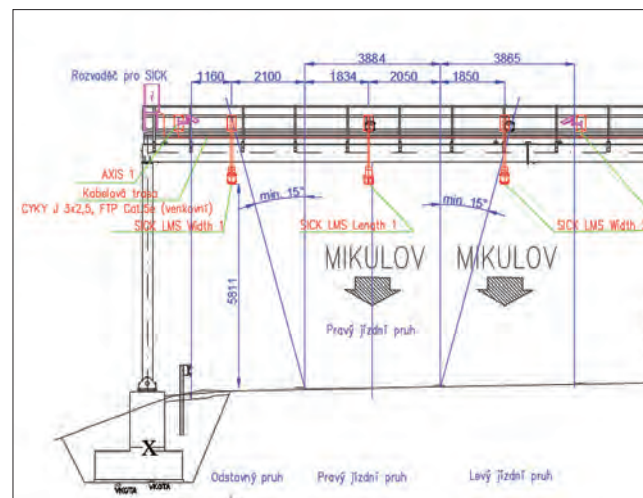
Byly instalovány přehledové kamery AXIS P1357-E:

- AXIS 1 - pohled šikmo zepředu na přijíždějící vozidla,
- AXIS 2 - pohled na vozidla z boku.

Do rozváděče pro technologii SICK byl dodán datový modem 3G/LTE.

Rozváděč byl datově propojen se stávající WIM stanicí ve směru do centra.

O dočasném umístění zařízení na mýtné stanici byla uzavřena smlouva s Ředitelstvím silnic a dálnic ČR, která je přílohou zprávy. Souhlas s umístěním zařízení na mýtné bráně udělila také firma Kapsch Telematic Servis spol. s r.o.



Obr. 1: Schéma uspořádání v profilu komunikace

2.2 Část 1 - Statická zkouška (měření)

Vzhledem k přesnosti zařízení deklarované v technických podmínkách (v řádu cm) lze předpokládat využití geodetických metod (prostorové polární metody, protínání, laserové skenování atd.) s využitím přístrojového vybavení totální stanice Leica MS50 (dále jen MS50; přesnost přístroje v řádech milimetrů), popřípadě velmi přesného přístroje, jakým je Leica Absolute tracker AT401 (dále jen AT401; přesnost přístroje v řádech desetin milimetrů). Jako kontrolní metodu pro splnění podmínky dvojího zaměření jinou metodou a jinou technologií lze využít měřické pásmo (přesnost měření v řádech několika milimetrů). Dále je možné otestovat měření systému na různé druhy materiálů, se kterými je možné se v praxi setkat (barvy, povrchová úprava, materiálové provedení atd.). Je také potřeba uvážit tepelnou roztažnost konstrukce, na které bude systém nainstalován, ale vzhledem ke konfiguraci celého systému je tato chyba minimalizována.

Statické měření vozidel bylo prováděno v Laboratoři CDV dle normy ČSN 30 0521. Norma platí pro kontrolu základních rozměrů silničních vozidel pro motorovou dopravu dvoustupých nejméně čtyřkolových (automobilů osobních, nákladních i speciálních, autobusů, traktorů, dvou i více nápravových přívěsů a motorových vozidel s přívěsem) a stanoví podmínky měření a jeho postup.

2.2.1 Postup měření

Měřené rozměry

A	délka vozidla
B	šířka vozidla
C	výška vozidla

Příprava vzorku

Vzorkem se rozumí vozidlo. Vozidlo, jehož základní rozměry mají být zkontrolovány, se přistaví na kontrolní místo a zajistí se zabrzděním, nebo založením kol klíny. Pneumatiky se nahustí na tlak předepsaný výrobcem.

Měřicí zařízení

Pásmo (kalibrační list: KL – P01572/2014), sklonoměr (kalibrační list: SKL003/2014), měřicí lať, olovnice, tlakoměr, teploměr.

2.2.2 Měření půdorysných rozměrů vozidla (délka a šířka)

Vozidlo, jehož délka a šířka byly zkontrolovány, bylo přistaveno na kontrolní místo a zajištěno proti pohybu zabrzděním. Poté se vždy dva nejvzdálenější body na čele a na zádi a na pravé a na levé straně vozidla promítly (pomocí olovnice) na kontrolní rovinu, kde se jejich průměty vyznačily. V případě pochybností o nejvzdálenějších bodech se vyznačilo na kontrolní rovině několik bodů, které přicházely v úvahu.

Po vyznačení bodů se vozidlo odstavilo z kontrolního místa a vzdálenost průmětů nejvzdálenějších bodů se změřily pomocí pásma.

2.2.3 Měření výškových rozměrů vozidla

- Pravitko vhodné délky (aby přečnívalo vozidlo) bylo přiloženo k měřenému bodu vozidla a s pomocí sklonoměru uvedeno do vodorovné polohy, ve které bylo zajištěno.
- Následně se pomocí pásma měřila výška příslušné hrany pravitka na přečnivajícím jeho konci nad kontrolní rovinou.

2.2.4 Měřená vozidla a výsledky – příklad

Tahač DAF XF včetně návěsu Schmitz Cargobull AG

Výsledky měření základních rozměrů vozidla jsou uvedeny v Protokolu o zkoušce č. DN 01/2018 ze dne 01. 03. 2018. Měření vozidla bylo provedeno 27. 02. 2018. Technické údaje o vozidle a výsledky z měření jsou uvedeny níže.

Výsledky měření základních rozměrů vozidel

Číslo, označení	Označení měření	Název položky měření	Hodnota měření [mm]
	A	délka soupravy	16 533
	B ₁	šířka soupravy	2 550
	B ₂	šířka soupravy – zrcátka	3 054
	C	výška soupravy	4 043

Rozšířená nejistota měření:

$$U_A = 2 \text{ mm}; U_B = 3 \text{ mm}; U_{B1} = 2 \text{ mm}; U_C = 2 \text{ mm}$$

Index se vztahuje k příslušnému označení měření.

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu pokrytí $k=2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%.

2.3 Část 2 - Dynamická zkouška (měření)

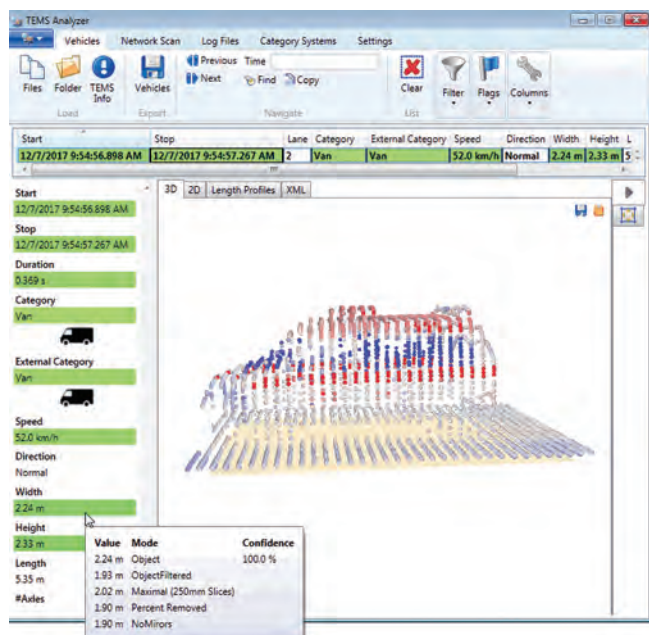
Cílem je ověření využitelnosti systému v běžném silničním provozu, tedy stanovení přesnosti určení rozměrů pohybujících se objektů a zároveň určení závislosti směrodatných odchylek rozměrů objektu (výšky, šířky a délky) na rychlosti objektu. Bylo provedeno několik sad měření za různých rychlostí pohybu pevné konstrukce objektu (předpoklad je cca 10 km/h, 25 km/h, 50 km/h, 75 km/h a 100 km/h). Obdobné měření bylo realizováno s objektem, který nemá zcela pevnou konstrukci, jako je vozidlo s plachtou, taktéž v různých rychlostech pohybu objektu (předpoklad je cca 10 km/h, 25 km/h, 50 km/h, 75 km/h a 100 km/h). Jelikož se plachta na vozidle díky jeho rychlosti pohybu bude chvět, tak jako nejideálnější řešení se jeví určení velikosti tohoto chvění a začlenění této veličiny (nejistoty) do výpočtů charakteristik přesnosti měření.

Dle výsledků ze statické zkoušky je možné otestovat měření systému na různé druhy materiálů, se kterými je možné se v praxi setkat, které vykazovaly zhoršené charakteristiky přesnosti měření (např.: velký šum a podobně) nebo vykazovaly nestandardní chování při měření systémem (dvojí odraz laserového svazku a podobně).

3. Kalibrace

Po instalaci systému pro kontrolu rozměrů vozidel byla ve spolupráci s firmami Sick (CH), Camea (CZ) a za přispění

Policie ČR zorganizována jeho kalibrace. V první fázi byl systém kalibrován staticky s použitím etalonu a po vložení kalibračních faktorů do systému následovalo jejich ověření prostřednictvím přejezdů vozidla. Měřicí vozidlo CDV vyhovovalo požadavkům na ověření s ohledem na jeho „proměnný profil“ (střešní klimatizace a oranžový maják) viz **obr. 2**. První série měření proběhla bezprostředně po kalibraci systému.



Obr. 2: Ověřovací jízdy a výstup systému

4. Stanovení postupu měření rozměrů vozidel

Úkolem tohoto dokumentu je stanovení správného postupu měření rozměrů vozidel pohybujících se v běžném provozu, definování způsobu doložení metrologické

návaznosti a stanovení postupu vyhodnocení naměřených dat. Zpráva popisuje uskutečněná zkušební měření na dočasně instalovaných měřicích zařízeních a vyhodnocení jimi nasbíraných dat. Postup měření byl zpracován ve spolupráci s Laboratoří primární metrologie Praha, Českého metrologického institutu.

4.1 Definování referenčních vozidel

Referenční vozidlo slouží jako etalon pro zjištění metrologických vlastností měřicího zařízení. Proto je nutné vybrat tato vozidla tak, aby byla schopna odhalit případné nedostatky měřicího zařízení. Vybraná referenční vozidla musí obsahovat výčnělky z hladkého povrchu karoserie (např. maják, klimatizační jednotka, anténa, hydraulické nakládací rameno atd.), aby byla prokázána schopnost měřicího zařízení tyto zmíněné prvky odhalit a změřit. Dalším požadavkem na volbu referenčních vozidel je také rozměrová různorodost. Tím se myslí vybrat vozidla tak, aby co nejlépe vystihovala rozměrové spektrum běžně se pohybujících vozidel na silnicích. Výběr musí obsahovat např. osobní vůz, dodávku, nákladní vozidlo, tahač s návěsem apod. Minimální počet vozidel je stanoven na tři vozidla

5. Rozdělení měření

Měření rozměrů vozidel pohybujících se v běžném provozu se sestává ze statického měření, které má sloužit pro zjištění výchozích rozměrů referenčních vozidel. Další částí je měření dynamické, které probíhá pomocí posuzovaného měřicího zařízení (měřicí skener, optické závory atd.).

5.1 Statické měření

Statické měření vybraných typů vozidel probíhá podle doporučení normy ČSN 30 0521 a musí zahrnovat maximální rozměry vozidla. Tím se rozumí zohlednění vyčnívajících částí vozidla z hladkého obrysu karoserie. Měřené rozměry jsou v ČSN 30 0521 označeny jako:

- A délka vozidla.....[mm]
- B šířka vozidla.....[mm]
- C výška vozidla.....[mm]

U pracovních měřidel použitých při statickém měření musí být doložena metrologická návaznost. Tato návaznost je splněna opatřením kalibračních listů od akreditované kalibrační laboratoře ke všem použitým měřidlům před provedením statického měření.

Na základě správného provedení statického měření lze vozidla prohlásit za referenční vozidla pro následné dynamické měření.

5.1.1 Způsob vyhodnocení statického měření

Výsledkem statického měření je získání rozměrů (výška, šířka, délka) referenčních vozidel s přiřazenou rozšířenou kombinovanou nejistotou měření. Obdržená data ze statického měření poslouží k výpočtu standardní nejistoty měření.

Standardní nejistotu měření lze dělit na dvě části. Standardní nejistota u_a :

Výpočet standardní nejistoty u_a vychází ze statistické analýzy opakované série měření. Jestliže existuje (n) nezávislých stejně přesných měření ($n > 10$), pak je odhad výsledné hodnoty reprezentován hodnotou výběrového aritmetického průměru.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \tag{1}$$

Stanovení nejistoty typu A, kde S_x je směrodatná odchylka aritmetického průměru a n je počet měření se v tomto případě vypočte:

$$u_a = s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \tag{2}$$

Standardní nejistota u_b :

Výpočet standardní nejistoty u_b je založen na jiných než statistických přístupech k analýze série pozorování. K vyhodnocení se využívají např. dostupné informace, hodnoty získané z kalibračních listů, nebo zkušenosti s měřením.

Nejistota typu B je dána geometrickým součtem nejistot způsobených jednotlivými vlivy, např.:

- nejistota etalonu (např. z kalibračního listu)

- u_{b1} – nejistota napnutí měřického pásma u_{b2}
- nejistota vlivem teploty u_{b3}
- další vlivy u_{bn}

$$u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2} \tag{3}$$

Ke každé složce ($u_{b1}, u_{b2}, u_{b3}, \dots, u_{bn}$) se přiřadí příslušné rozdělení pravděpodobnosti.

Nejistoty typu A a B je třeba sloučit, čímž se získá kombinovaná standardní nejistota.

Kombinovaná standardní nejistota měření: stanovena z nejistoty typu A a B

$$u = k \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \tag{4}$$

Vypočtená nejistota u byla určena z pravděpodobnosti $P = 68 \%$, tj. $k = 1$. Pro jinou pravděpodobnost se nejistota přepočte vynásobením koeficientem k .

V kalibračních listech se udává nejistota výsledku měření rozšířená koeficientem $k = 2$, tj. pro pravděpodobnost $P = 95 \%$. Výsledek měření se uvádí ve tvaru:

$$X \pm U \tag{5}$$

kde U je rozšířená kombinovaná nejistota výsledků měření.

5.2 Dynamické měření

Dynamické měření se provede pomocí průjezdu referenčních vozidel měřicím zařízením. Měřicí zařízení musí být instalováno a následně seřizeno (kalibrováno) dle technické specifikace výrobce zařízení. Pro statistické vyhodnocení je nutné provést opakovaná měření alespoň v počtu 10 průjezdů každého vozidla pro danou rychlost (Tab. 1). Měření musí být provedeno pro 3 různé rychlosti vozidel tak, aby byl rovnoměrně pokryt rozsah měření daný technickou specifikací měřidla. Aby byla prokázána schopnost měřicího zařízení odhalit vozidla překračující povolenou rychlost, je vyžadováno měření i při rychlosti vyšší, než je povolená rychlost v daném měřicím místě.

Pro doložení správnosti funkce měřicího systému je nutné provádět dynamická měření za různých meteorologických podmínek (sněžení, déšť, mlha, námraza, apod.) a tato data musí být zaznamenána i včetně změn během měření (teplota, tlak, vlhkost vzduchu, apod.).

Tab. 1: Požadavky na dynamická měření

	Rychlost [km/h]	Počet průjezdů
Vozidlo 1	20, 50, 80 (100, 120)*	10 (3)**
Vozidlo 2	20, 50, 80 (100, 120)*	10 (3)**
Vozidlo 3	20, 50, 80 (100, 120)*	10 (3)**

-)* doporučené rychlosti – vyšší než povolené
-)** počty průjezdů pro vyšší než povolené rychlosti

Typ nejistoty	Číslo průjezdu	Nominální výška vozidla [mm]	Naměřená výška vozidla [mm]	Rychlost vozidla [km/h]	Průměrná hodnota [mm]	Směrodatná odchylka	Počet měření	u_a	u_a^2	u_b	u_b^2	Standardní kombinovaná nejistota u [mm]	Rozšířená kombinovaná nejistota u [mm]
A	1	4043	4072	50	4068	4,09	10	1,3	1,7	81,4	6625	81,4	162,8
	2	4043	4060										
	3	4043	4066										
	4	4043	4065										
	5	4043	4065										
	6	4043	4068										
	7	4043	4072										
	8	4043	4075										
	9	4043	4068										
	10	4043	4067										
B	Vliv nejistoty u_b							u_{bn}	u_{bn}^2				
		měřicí systém						30	900				
		akcelerace/decelerace vozidla						50	2500				
		kalibrace referenčního vozidla						5	25				
		tlak v pneumatikách						10	100				
		nerovnost vozovky						10	100				
		teplota						10	100				
		vliv odrazivosti povrchu						20	400				
	vliv nestability rozměru						50	2500					

Tab. 2: Příklad výpočtu nejistoty dynamického měření

Způsob vyhodnocení dynamického měření

Dynamické měření je navázáno na statické měření. Postup výpočtu nejistoty dynamického měření je analogický ke stanovení nejistoty statického měření. Liší se pouze v příspěvcích nejistot typu B (vliv nejistoty u_b), jak je naznačeno v (Tab. 2). Velikost a typy příspěvků nejistot závisí na principu měření zvoleného měřicího systému. Výsledky dynamického měření (naměřená data) nesmí být filtrována, tzn. nesmí být vyloučeno žádné měření. Extrémní hodnoty v souboru naměřených dat nemusí být chybou měření, nýbrž správnou reakcí měřicího zařízení na výčnělky karoserie referenčního vozidla. Při filtraci by tato data mohla být chybně vyloučena ze souboru dat.

Na základě výsledku měření s přiřazenou rozšířenou kombinovanou nejistotou měření musí být měřicí systém posouzen, zda je ve shodě, resp. neshodě se schopností plnit požadovaný účel. Způsob rozhodnutí o shodě je popsán v dokumentu ILAC-G8:03/2009 Pokyny k uvádění shody se specifikací.

6. Experiment

Statická měření byla provedena v laboratoři CDV dle normy ČSN 30 0521 (viz. 5.1).

Dynamická měření byla provedena pomocí zařízení instalovaných na mýtné bráně 2458, umístěné na silnici E 52 KM 6,5 – Brno Modřice ve směru z Brna.

6.1 Provedená dynamická měření

Na základě výběru referenčních vozidel a následné charakterizace podmínek bylo provedeno dynamické měření těchto vozidel. Pod pojmem dynamické měření se rozumí stanovení rozměrů referenčních vozidel při průjezdu měřicím zařízením. Výsledkem je soubor dat, např. množina získaných výšek (délek, šířek) z jednoho průjezdu. Z těchto dat se neprovádí rekonstrukce celých vozidel. Byly zpracovány jen soubory dat jednotlivých rozměrů vozidel zvlášť.

Pro každé vozidlo, resp. pro každý rozměr (výška, šířka, délka), pro každou jednotlivou rychlost bylo provedeno zhodnocení experimentu a vypočtena rozšířená kombinovaná nejistota (viz příloha Vyhodnocení).

6.1.1 Vyhodnocení dynamických měření

Vyhodnocení obsahuje naměřená data konkrétního referenčního vozidla při průjezdu konkrétní rychlostí a srovnání obou vyhodnocovaných systémů. Podrobná zpráva je součástí přílohy.

Tab. 3: Vyjádření přesnosti měřicích systémů [mm]

	Výška [mm]	Šířka [mm]	Délka [mm]
Systém SICK	-311	-568	-833

Tab. 4: Vyjádření přesnosti měřicích systémů [%]

	Výška [%]	Šířka [%]	Délka [%]
Systém SICK	15,2	23,5	5,3

7. Poznatky z praktických měření

7.1. Minimální rozměr elementu vozidla při měření rozměrů

V tomto dokumentu je uveden rozbor možností měření rozměrů nákladních vozidel za jízdy pomocí rozmítaného laserového skeneru.

U systémů, které pracují s rozmítanými skenery, je rozlišení měření limitováno následujícími faktory:

- Frekvence rozmítání
- Úhlový krok rozmítání
- Geometrie instalace

Protože se jedná o optickou metodu, mají vliv i povrchové vlastnosti vozidla (odrazivost a pohltivost světla na použité vlnové délce). Například zrcadlový povrch nerezové cisterny může způsobit zvýšenou chybu měření.

7.2. Další vlivy na experiment

Na základě rozboru naměřených dat v dynamickém režimu, jehož výsledky jsou v příloze, lze pro další vývoj zlepšení výsledků měření skenováním doporučit několik kroků. Prvním krokem zvýšení vzorkovací frekvence skenerů. Metodika jak kalibrace referenčních vozidel, tak kalibrace skenerů by se v budoucnosti měla opřít o mezilaboratorní porovnání. Dodavatel může zvážit i zvýšení nejistoty zavedením bezpečnostního koeficientu, čímž dojde ke snížení rizik. Tyto body lze následně rozvést:

Vzorkovací frekvence

Z experimentu vyplynul velmi důležitý fakt, že některé vyčnívající části karoserie nebyly skenery zachyceny, jak je patrné z vyhodnocení na listu RENAULT_50KM_H v příloze.

Z toho vyplývá, že **vzorkovací frekvence tří skenerů (75 Hz) pro určité průjezdové rychlosti a malé rozměry přečnívajících elementů vozidla je pro potřebu přímého postihu prozatím nedostačující.**

Mezilaboratorní porovnání

K verifikaci kvality měření, a především při zavádění nové technologie by bylo vhodné provést mezilaboratorní porovnání. Mezilaboratorní porovnání, které organizuje ČMI se vyhodnocuje pomocí kritéria E_n .

$$E_n = \frac{X_{lab} - X_{ref}}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}} \leq 1$$

kde X_{lab} je hodnota zúčastněné laboratoře
 X_{ref} je referenční hodnota, v době měření není známa pro laboratoř
 U_{lab} nejistota měření zúčastněné laboratoře
 U_{ref} nejistota pilotní laboratoře, v době měření není známa pro laboratoř

Uživatel skenerů by měl zvážit tuto možnost, a to jak pro statické změření referenčních vozidel, tak vlastních skenerů.

Snížení rizik

V některých oborech, např. v automobilovém průmyslu, se zavádí „koeficient bezpečnosti“.

Jde o zvýšení pásma nejistoty. Např. v automobilovém průmyslu v určitých odvětvích se zvolil koeficient 5. To znamená, že stanovená nejistota na základě měření se rozšíří pětinasobně. Dalším snížením rizik by bylo doplnění měření skenováním o optické brány.

8. Závěry a doporučení

Kromě maximální chyby měření rozměrů vozidla je třeba také zohlednit minimální rozměr elementu vozidla (minimální rozlišení), který je systém schopen spolehlivě zahrnout do měření rozměrů. Tento element by měl být určen minimální výškou, šířkou a délkou při uvážení nejhoršího možného případu (nejvyšší vzdálenost, nejostřejší úhel a maximální pracovní rychlost).

Tato minimální velikost objektu by měla být určena výrobcem systému s ohledem na parametry použitých skenerů a doporučený způsob instalace určený výrobcem. Hodnota musí být podložena popisem výpočtu, kterým výrobce k hodnotě dospěl.

(pozn.: Vzhledem k tomu, že u měření délky existuje závislost na rychlosti, může výrobce uvést různé minimální délky pro různé pracovní rychlosti systému)

Systém musí vyřazovat (nevydat nebo označit) výsledky měření těch vozidel, která nespĺní podmínky pro detekování elementu s minimálními rozměry. Například maximální rychlosti, minimální úhel, maximální vzdálenost nebo jiné.

Při provozu systému je nutno připustit, že nemusí být změněny ty elementy vozidla, jejichž kterýkoliv rozměr je menší nežli minimální.

Při testech či kalibraci systému tedy musí být používána vozidla bez takovýchto konstrukčních částí. Například tedy nesmí být přítomny výstražné majáky, ramena manipulátorů, zajišťovací konstrukce pro náklad a další.

Díky výše uvedenému principu není systém schopen spolehlivě zahrnovat zpětná zrcátka do šířky vozidla. Při testech či kalibraci by mělo být měření zrcátek potlačeno nastave-

ním systému. Při provozu systému nelze zaručit, že zrcátka budou zahrnuta. Lze tedy doporučit, aby systém potlačoval zrcátka i v běžném provozu.

Systém lze využít pro měření rozměrů vozidla za jízdy při zohlednění nejistoty měření a minimální velikosti elementů, které systém nemusí spolehlivě zaznamenat.

O minimálním rozměru elementu vozidla a tolerancích měření musí být jasně informován koncový uživatel systému, aby bylo zamezeno jeho nesprávnému použití. Systém například není vhodný pro aplikace ochrany průjezdného profilu vozovky. Může dojít k situaci, kdy vozidlo nevyhovuje průjezdnému profilu, ale tento stav nemusí systém signalizovat.

Výsledkem řešení je

- zpracovaný metrologický předpis pro stanovení postupu měření rozměrů vozidel v běžném provozu a stanovení postupu vyhodnocení naměřených dat.

Literatura:

- [1] TNI 01 0115. *Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [2] *Dokument EA-4/02 M:2013. Výjádření nejistoty měření při kalibraci.*
- [3] Český institut pro akreditaci, o.p.s. *Dokument ILAC-G8:03/2009. Pokyny k uvádění shody se specifikací.*
- [4] Doupal E., Novotný J., CDV v. v. i. *Projekt SFDI „Systém kontroly rozměrů vozidel“ SICK Modular Profiling system - MODŘICE E52 Mýtná brána 2458 - E 52 KM 6,5, Brno Modřice, 2018*
- [5] Technická dokumentace SICK, 8020775_BA_Modulares_Profiling_System_en, & Dimension Measuring with FPS V2.6.1.0
- [6] Zelený V., Hynek J., *Metodika pro dynamické měření rozměrů vozidel (metrologický předpis), ČMI, 2018*



MANIPULACE S TACHOGRAFY, VLIV NA NĚKTERÉ SYSTÉMY NÁKLADNÍCH VOZIDEL

Ing. Andrej Haring

TRUCK CONSULT

Abstrakt

Záznamové zařízení (digitální tachograf) je z legislativního hlediska povinnou součástí výbavy nákladních vozidel. Z technického hlediska lze systém digitálního tachografu chápat jako součást elektronické výbavy vozidla. Digitální tachograf je propojen s tachometrem a počítadlem ujeté vzdálenosti, a také s dalšími systémy vozidla. Propojení tachografů s dalšími systémy vozidla je realizováno prostřednictvím CAN (Controller Area Network), tedy přes vnitřní

komunikační systém vozidla. Digitálním tachografem jsou přebírány některé signály z dalších elektronicky řízených systémů (EBS, motor, převodovka a další). Také elektronicky řízené systémy vozidla a komunikační obvody systémy přebírají z digitálního tachografu signály a informace pro svou činnost. Pokud dojde k nesprávné funkci digitálního tachografu, tak toto ovlivňuje správnou funkci těchto systémů vozidla. Tato problematika také přímo souvisí s manipulacemi s tachografy.

Systém digitálního tachografu z hlediska legislativního splňuje specifikaci počítačového systému. Digitální tachograf je zařízení, které sestává z technického vybavení (hardware) a programového vybavení (software) a je urč-

no k automatickému zpracování digitálních dat. Z právního hlediska je tedy samotná manipulace s tachografem trestná.

V článku jsou popsány možné způsoby manipulace s tachografy a v další části vlivy manipulace na jednotlivé systémy nákladních vozidel.

Problematika manipulace s tachografy

Manipulace s digitálními tachografy nákladních vozidel je v současnosti poměrně rozšířená této problematice je ze strany příslušných orgánů věnována značná pozornost a to nejen v tuzemsku, ale také v dalších evropských státech. Důvodem manipulace s digitálními tachografy je ovlivňování doby jízdy řidiče a zákonných přestávek. Typický příklad manipulace je změna režimu tachografu «jízda» na «odpočinek». Znamená to, že vozidlo se pohybuje, tedy pracuje, ale digitální tachograf zaznamenává signál, že vozidlo se nepohybuje. Manipulace s digitálním tachografem je nezákonná a také negativně ovlivňuje bezpečnost silničního provozu. Manipulace s digitálním tachografem v praxi znamená ovlivnění signálu o pohybu vozidla. Toto je možné realizovat korekcí signálu přímo ve snímači otáček (KITAS) nebo přidáním externího zařízení pro korekci signálu. Aktivace nebo deaktivace korekce signálu digitálního tachografu je možná pomocí externího ovladače nebo kombinací některého z prvků ovládání vozidla. Druhá možnost značně komplikuje zjištění manipulace s digitálním tachografem v provozu.

Manipulaci s tachografy je možné rozdělit na dvě kategorie:

1. Korekce signálu ve vnitřním obvodu digitálního tachografu
2. Korekce signálu pomocí externího zařízení

1. Korekce signálu ve vnitřním obvodu digitálního tachografu

Tento způsob manipulace s digitálním tachografem spočívá v instalaci elektronického obvodu přímo do snímače otáček (KITAS). Princip spočívá v tom, že pomocí elektronického obvodu je korigován signál Hallova snímače tak, aby odpovídal nulového počtu otáček. Aktivace tohoto obvodu je pomocí externího spínače. Tento manipulovaný signál je potom přiveden na výstup snímače otáček.

2. Korekce signálu pomocí externího zařízení

Tento způsob manipulace s digitálním tachografem spočívá v instalaci externího zařízení, které je připojeno do obvodu digitálního tachografu. Připojeno je na kabeláž ze snímače otáček (KITAS) a vyžaduje i externí elektrické napájení. Aktivace je možná některým z ovladačů umístěných na přístrojovém panelu vozidla. K deaktivaci zařízení pro korekci signálu dochází zpravidla vypnutím zapalování vozidla.

Zjištění manipulace s digitálním tachografem

Zjištění manipulace s digitálním tachografem je poměrně problematické. Toto je ovlivněno těmito faktory:

- zařízení pro korekci signálu jsou na vysoké technické úrovni

- zařízení jsou odborně montována
- zařízení lze zpravidla deaktivovat ještě před kontrolou vozidla
- při běžné silniční kontrole zařízení není možné zjistit, je potřebné technické vybavení a odborné znalosti
- zdoluhavý proces dokazování

Praktické případy zjištění manipulace s digitálním tachografem

Příklad č. 1

- Při kontrole vozidla bylo zjištěno, že na vozidle je osazeno zařízení pro manipulaci s tachografem.
- Prohlídka byla provedena na stanici technické kontroly.
- Zjištěná byla manipulace se snímačem otáček (KITAS)
- Snímač otáček byl demontován. Následně byl rozebrán.
- Zjištěné bylo dodatečné osazení elektronickým obvodem, který korigoval signál do digitálního tachografu tak, aby za jízdy odpovídal stavu, že se vozidlo nepohybuje.
- Aktivační zařízení nebylo zjištěno (pravděpodobně došlo jeho znehodnocení řidičem bezprostředně před kontrolou).

Prohlídka snímače otáček (KITAS):

Pro potřeby analýzy byl snímač impulzů demontován z vozidla a mechanicky rozebrán. Pohled na snímač impulzů KITAS, který byl demontován z vozidla DAF FT XF 105.410 je na obr. 1.



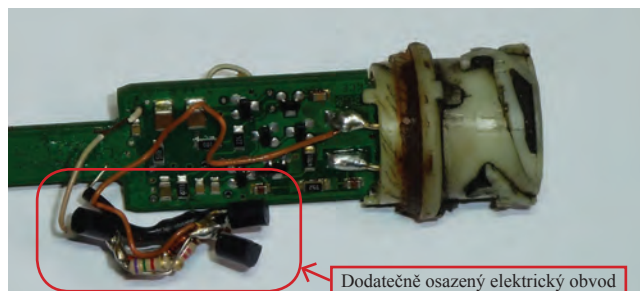
Obr. 1: Stav snímače impulzů při prohlídce

Zjištěný stav:

Na desce elektronického řídicího systému snímače se nacházely elektrické součástky, které nejsou původní součástí snímače.

Detailní zobrazení elektronického řídicího systému snímače je na obr. 2. Dodatečně byly osazeny odpory a tranzistory, které jsou společně propojeny do elektrického obvodu. Jedná se tedy o dodatečnou montáž, které je neoprávněný zásah do elektronického řídicího systému snímače impulzů.

K aktivaci dodatečného obvodu dochází manuálním ovládním, kdy je aktivováno elektrické napájení tohoto obvodu.



Obr. 2: Detailní pohled na dodatečně osazený elektrický obvod

Příklad č. 2

- Při kontrole vozidla bylo zjištěno, že digitální tachograf zaznamenal nesprávný režim vozidla.
- Dalším postup byl v součinnosti Policie ČR, Centra služeb pro silniční dopravu a znalce.
- V rámci prohlídky vozidla bylo provedeno měření parametrů paralelní diagnostikou, měření sériovou diagnostikou, zkušební jízda (vyšetřovací pokus).
- Zjištěno bylo externí zařízení pro manipulaci s digitálním tachografem.
- Způsob aktivace zařízení byl kombinací zapínání ovládacích prvků vozidla umístěných na přístrojovém panelu.

Sériová diagnostika:

Sériová diagnostika byla převedena multiznačkovým diagnostickým zařízením BOSCH KTS TRUCK. Zjištěné byly závady, které přímo souvisí s funkcí digitálního tachografu (**obr. 3**).

VECU, Řídicí jednotka vozidla (VECU)	PID:46 FMI:1	Tlak v zásobníku tlakového vzduchu. Data jsou platná, avšak jsou nižší než mez běžného provozního rozsahu.	k dispozici
VECU, Řídicí jednotka vozidla (VECU)	PID:84 FMI:2	Rychlost jízdy. Přeřouvaná nebo nesprávná data.	není k dispozici
VECU, Řídicí jednotka vozidla (VECU)	PID:84 FMI:14	Rychlost jízdy. Zvláštní pokyny.	není k dispozici
VECU, Řídicí jednotka vozidla (VECU)	SID:231 FMI:2	Datové spojení SAE J1939. Přeřouvaná nebo nesprávná data.	není k dispozici
VECU, Řídicí jednotka vozidla (VECU)	PSID:212 FMI:9	Datové spojení, řídicí jednotka tachografu. Abnormální doba aktualizace.	není k dispozici
VECU, Řídicí jednotka vozidla (VECU)	PPID:430 FMI:0	Vysoušeč vzduchu, regenerace. Data jsou platná, avšak jsou vyšší než mez běžného provozního rozsahu.	není k dispozici
VECU, Řídicí jednotka vozidla (VECU)	PSID:25 FMI:1	Únik vzduchu. Data jsou platná, avšak jsou nižší než mez běžného provozního rozsahu.	není k dispozici
VECU, Řídicí jednotka vozidla (VECU)	PSID:230 FMI:5	Chyba softwaru. Nedostatečný proud nebo přerušeni.	není k dispozici
VECU, Řídicí jednotka vozidla (VECU)	PSID:208 FMI:9	Datové spojení, řídicí jednotka pneumatického odporu. Abnormální doba aktualizace.	není k dispozici

Obr. 3: Výňatek z diagnostického protokolu BOSCH KTS TRUCK – celková diagnostika vozidla, systém VECU, řídicí jednotka vozidla

Na **obr. 4** je výňatek z diagnostického protokolu, kde jsou uvedeny výpisy a popisy závad systému TCO - tachografu vozidla. Jedná se ale o závady, které jsou diagnostikovány přes OBD diagnostický protokol vozidla, diagnostické zařízení není přímo připojeno k digitálnímu tachografu. Z diagnostiky elektronicky řízených systémů vozidla vyplývá, že byly zaznamenány neaktivní závady související s funkcí digitálního tachografu, tyto závady ale přímo nespecifikují, že se ve vozidle nachází zařízení pro korekci signálů tachografu.

2640 TCO, Tachograf

20.3.18 12:25

1. Paměť chyb

12:26

SID:251 FMI:12	Napájení. Závada řídicí jednotky nebo komponenty.	není k dispozici
PSID:12 FMI:5	Snímač, napájení. Nedostatečný proud nebo přerušeni.	není k dispozici

PSID:6 FMI:9	Generátor impulsů. Abnormální doba aktualizace.	není k dispozici
PSID:31 FMI:11	Tachograf. Neidentifikovatelná chyba.	není k dispozici
PSID:13 FMI:14	Jízda bez karty. Zvláštní pokyny.	není k dispozici

Obr. 4: Výňatek z diagnostického protokolu BOSCH KTS TRUCK – diagnostika systému TCO – tachograf

Prohlídka vozidla

Na základě sériové, paralelní diagnostiky a vyšetřovacího pokusu bylo zjištěno, že ve vozidle se nachází zařízení pro korekci signálu digitálního tachografu. Prohlídka vozidla byla zaměřena na zjištění tohoto zařízení.

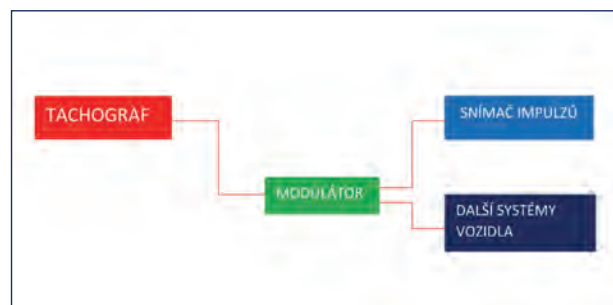
Zařízení bylo nalezeno pod vnitřními panely v pravé horní části interiéru vozidla (**obr. 5**). Je patrné, že umístění zařízení je zvoleno tak, aby jej nebylo možné při běžné prohlídce zjistit. Samotné provedení připojení kabeláže je profesionální. Také připojení na CAN je odborně provedeno.



Obr. 5: Detailní pohled na modul pro korekci signálu tachografu

Popis funkce zařízení pro korekci signálu

Z prohlídky elektrického zapojení modulátoru - zařízení pro korekci signálů tachografu vyplývá, že modulátor na základě aktivního impulsu upravuje digitální CAN signál do tachografu tak, aby řídicí jednotka tachografu vyhodnotila tento signál jako přestávku také v případě pohybu vozidla. Zároveň dochází v modulátoru ke korekci signálu ze snímače impulsů (KITAS), takže jednotka tachografu vyhodnocuje korigovaný signál permanentně jako přestávka. Dochází k zastavení počítání ujeté vzdálenosti. Schématické propojení zařízení pro korekci signálů tachografu - modulátoru ze snímačem impulsů a dalšími systémy vozidla je na **obr. 6**.

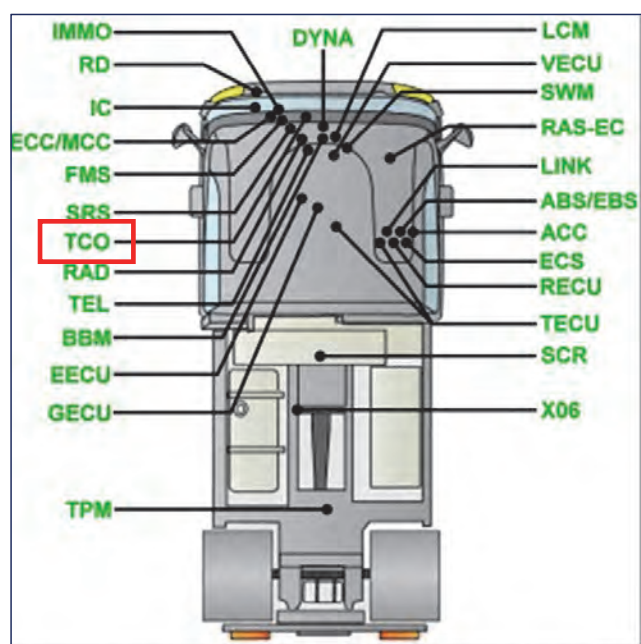


Obr. 6: Schématické znázornění zapojení modulátoru, tachografu, snímače impulsů a dalších systémů vozidla

Komunikace tachografu s ostatními systémy vozidla

Současná nákladní vozidla jsou vybavena množstvím elektronicky řízených systémů a digitální tachograf je jedním z těchto systémů. Pokud opomeneme legislativní podmínky,

tak z technického hlediska je tedy systém digitálního tachografu zařazen do komunikační struktury vozidla. To znamená, že komunikuje s ostatními elektronicky řízenými systémy prostřednictvím CAN, tedy formou přenosu digitálních signálů. Příklad osazení vozidla VOLVO FH elektronickými řídicími systémy, včetně systému digitálního tachografu (TCO) je uveden na **obr. 7**. Systém digitálního tachografu využívá signály a informace systémů vozidla a naopak, některé systémy vozidla využívají informace a signály ze systému tachografu. Z tohoto vyplývá, že při výskytu závad tachografu, nebo při manipulaci s tachografem má toto vliv na funkční stavy ostatních systémů vozidla. Dále budou uvedeny obecné popisy některých elektronicky řízených systémů nákladních vozidel a vliv nekorektních signálů na jejich funkční režimy.



Obr. 7: Příklad osazení elektronicky řízených systémů vozidla VOLVO FH s vyznačením systému digitálního tachografu (TCO)

1. Elektronický brzdový systém (EBS)

Elektronický brzdový systém (EBS) je u současných vozidel nejrozšířenějším brzdovým systémem, který je osazený v nákladních vozidlech. Podsystemy elektronického brzdového systému jsou také protiblokovací systém ABS a protiskluzový systém při rozjezdu vozidla ASR. U nákladních vozidel a jízdních souprav, kde je legislativní povinnost vybavení digitálním tachografem, se elektronický brzdový systém vyskytuje prakticky v každém vozidle. Elektronická řídicí jednotka využívá z digitálního tachografu využívá signál, respektive informaci o rychlosti vozidla. Tato informace o rychlosti vozidla je elektronickým brzdovým systémem využívána zejména pro tyto účely:

- Informace že vozidlo se pohybuje. Tato informace je pro elektronickou řídicí jednotku systému EBS velice důležitá, jsou aktivovány funkční a komunikační režimy systému.

- Výpočet skluzu. informace o rychlosti pohybu vozidla je zcela zásadní a nenahraditelná informace, kterou elektronická řídicí jednotka systému EBS používá pro výpočet skluzu. Tento výpočet skluzu provádí elektronická řídicí jednotka EBS v průběhu jízdy vozidla nepřetržitě v pravidelných intervalech. Vypočtená hodnota skluzu je pak porovnávaná s naprogramovanými hodnotami pro elektronickou regulaci samotného procesu brzdění, aktivaci, nebo deaktivaci protiblokovacího systému ABS a protiskluzového systému ASR.

V případě nekorektního signálu z digitálního tachografu jsou funkce ABS a ASR deaktivovány a deaktivovány jsou také další systémy aktivní bezpečnosti vozidla. Toto má přímý negativní vliv na bezpečnost silničního provozu a také je to v rozporu s legislativními požadavky. Proces regulace brzdového účinku nepracuje v optimálním režimu.

2. Systémy aktivní bezpečnosti vozidel

Stabilizační systémy u nákladních vozidel a autobusů nejsou žádnou novinkou, používají se již přibližně 20 let. To platí také o systémech zabráňujících převrácení přípojných vozidel, tedy přívěsů a návěsů. Tyto jsou aktivní u většiny přípojných vozidel také přibližně 20 let.

Použití dalších systémů aktivní bezpečnosti užitkových vozidel má v období posledních několika let výrazně rostoucí tendenci. Jedná se zejména o systémy: automatická regulace vzdálenosti (ACC Adaptive Cruise Control), aktivní brzdový asistent (Aktiv Brake Assist), automatické kritické brzdění (AEBS).

Všechny tyto systémy používají jako jeden z primárních parametrů signál o rychlosti vozidla a jeden ze zdrojů je systém digitálního tachografu. V případě, že je rozpor mezi signály o pohybu vozidla, tedy také v případě manipulace s tachografem, elektronické řídicí jednotky těchto systémů je deaktivují, tyto systémy tedy nejsou funkční. Jedná se určitý způsob preventivního opatření, kdy řídicí jednotky kvůli rozporným signálům systémy z preventivních důvodů deaktivují.



Obr. 8: Ukázka kolizní situace bez aktivního stabilizačního systému

3. Aktivní regulace systému pérování

U nákladních vozidel a autobusů je elektronická regulace pérování v závislosti na zatížení zcela běžnou záležitostí. Jedná se zejména o regulaci předem nastavené výšky

podvozku při změně zatížení vozidla, nebo autobusu. Jednou z dalších vývojových variant elektronické regulace systému pérování je regulace příčného náklonu vozidel při průjezdu zatáček a také regulace tuhosti tlumičů při průjezdu zatáček, nebo nerovností. Jedná se o systémy, které aktivně zvyšují bezpečnost provozu vozidel a to také v kritických jízdních situacích.

Tyto systémy ale využívají jako vstupní parametr signál, tedy informaci o pohybu vozidla. v případě manipulace s tachografem jsou tyto systémy v důsledku nekorektního signálu deaktivovány.

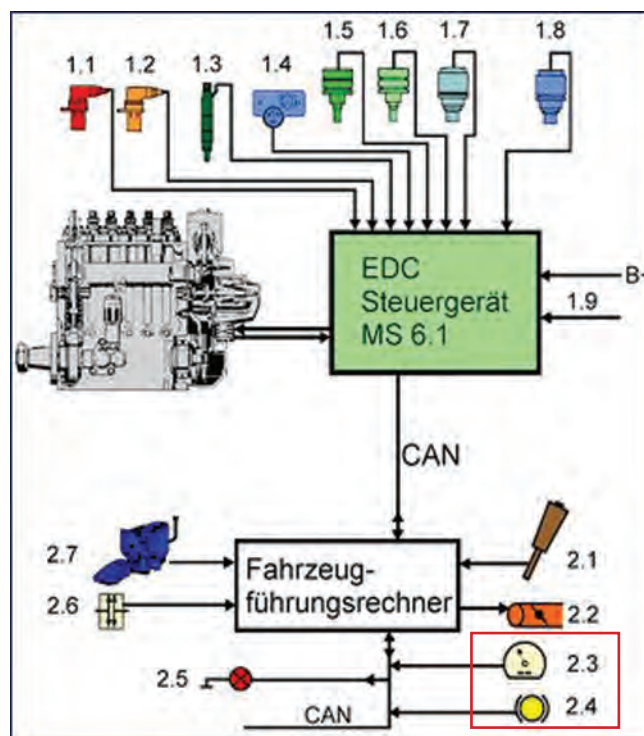
Manipulace s tachografy neovlivňují jenom funkci brzdových systémů a systémů aktivní bezpečnosti, ale ovlivňují také hnací systémy vozidla a to zejména systémy regulace vstřikování paliva a elektronické řízení převodovek. V těchto případech má nekorektní signál z tachografu vliv na ekonomiku provozu.

4. Systém elektronické regulace vstřikování paliva (EDC)

Systémy elektronické regulace vstřikování paliva využívají jako jeden ze vstupních signálů také signál o rychlosti vozidla, respektive o pohybu vozidla. Využíván je signál z digitálního tachografu a také signál z brzdového systému. na **obr. 9** je zobrazena zjednodušená schéma komponent systému vstřikování paliva, jde jsou vyznačeny vstupní signály z brzdového systému a systému digitálního tachografu. V případě, že řídicí jednotka systému vstřikování paliva zjistí rozdíl v signálech o rychlosti vozidla, ovlivní to funkční režimy tohoto systému. Nekorektní signál z digitálního tachografu ovlivňuje zejména optimalizaci regulace vstřikované dávky paliva. Toto negativně ovlivňuje výkové parametry motoru a emise ve výfukových plynech, což je zdrojem vzniku dalších závad. Pokud je s digitálním tachografem manipulováno dlouhodobě, tak systémy související s úpravou škodlivých emisí ve výfukových plynech vykazují zvýšené, nebo nadměrné hodnoty, což pak souvisí s dalšími problémy, kterých příčinu lze poměrně obtížně identifikovat.

5. Elektronická regulace převodovek

U většiny nákladních vozidel a autobusů se používají automatické řazení převodových stupňů. Samotná spojka a převodovka jsou mechanické komponenty, obdobné koncepce jak jsou známé z vozidel s manuálním řazením převodových stupňů, ale s tím rozdílem, že samotné řazení převodových stupňů zabezpečuje elektronická řídicí jednotka převodovky prostřednictvím řadičského modulu, který se skládá s ovládacích ventilů a řadičského mechanismu. Pro elektronickou řídicí jednotku řazení převodových stupňů je zcela nezbytný



Obr. 9: Schéma komponent systému vstřikování paliva s vyznačením vstupních signálů z brzdového systému a systému digitálního tachografu

signál o pohybu a rychlosti vozidla. Také pro systém řazení převodových stupňů jsou vstupní signály o rychlosti vozidla využívány z brzdových systémů, systémů digitálního tachografu, případně jiných elektronicky řízených systémů vozidla. Pokud je s digitálním tachografem manipulováno, tak řídicí jednotka dostává nekorektní signály a identifikuje rozporné informace. V reálné situaci to znamená, že kupříkladu z brzdového systému přichází informace o pohybu vozidla, ale z tachografu je signál, že vozidlo se nepohybuje, tedy stojí. Řídicí jednotka na tuto situaci reaguje tak, že aktivuje jiný funkční režim řazení převodových stupňů, což má vliv na optimalizaci řazení převodových stupňů.

Závěr

V článku jsou popsány možnosti manipulace s digitálními tachografy a také vliv manipulace se signálem o pohybu vozidla na některé z elektronicky řízených systémů nákladních vozidel a autobusů. Signál o rychlosti vozidla z tachografu je bezpochyby jeden z nejdůležitějších signálů a v případě manipulace se systémem digitálního tachografu je ovlivněna zejména bezpečnost provozu vozidla. Jako sekundární jsou vlivy na ekonomiku provozu.



Na adrese <https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/> je nová **SI Brochure, 9th edition (2019)**. Proti 8. edici je rozšířena o přílohu 4, **Poznámky k historii Mezinárodní soustavy jednotek SI a jejich základních jednotek**. Tato část není ovšem jen historickým přehledem; text vede k lepšímu pochopení filosofie soustavy a jejich fyzikálních základů.

KALIBRAČNÍ LIST JE VIZITKA LABORATOŘE – ČÁST 4

doc. Ing. Jiří Horský, CSc.

Vliv rozlišení při měření

Rozlišení je jeden ze základních parametrů, se kterým se setkáváme při měření. Je trochu podivné, že i po třech desítkách let akreditace u nás je to ještě někdy problém. Stává se to převážně tam, kde je rozlišení významným parametrem stanovení nejistoty. Navozuje to ale dojem, že řada uživatelů nedočetla v EA-4/02 M:2013 řádně i přílohu 2 a zejména příklad S9, který se tímto podrobně zabývá.

I po letech používání nejistot a akreditace mívají laboratoře poměrně často potíže se správným vyčíslením a zápisem. Vliv rozlišení se může výrazně lišit v závislosti na daném zařízení. Rozlišení digitálního přístroje nemusí být hodnoceno stejným způsobem, jako pro analogové měřidlo nebo etalonové míry (například etalony R, etalony L, etalony C, koncové měřky apod.). Rozlišení u podobných zařízení se může lišit i v závislosti na tom, jak se používají. Stále se ještě často setkáváme v kalibračních listech i s nesprávně stanoveným číselným zaokrouhlením, způsobeným konečným rozlišením.

Definice rozlišení

Rozlišení je konečné. Je omezeno kvalitou měření i naší schopností odečtu a vyhodnocení. Při provádění srovnávacích (kalibračních) měření mezi referenčním etalonem a testovaným etalonem jsou výsledky omezeny vlivem zařízení s nejmenším rozlišením. Proto je důležité, abychom vhodně kvantifikovali nejistotu rozlišení a zahrnuji ji do našich vykazovaných odhadů a výpočtů.

Definice rozlišení jsou uvedeny ve **VIM 3** [5], heslo 4.14 a 4.15.

Heslo 4.14 VIM 3: rozlišení je nejmenší změna veličiny, která je měřena, která způsobí rozeznatelnou změnu v odpovídající indikaci.

POZNÁMKA. Rozlišení může záviset např. na šumu (vnitřním nebo vnějším) nebo na tření. Rozlišení může také záviset na hodnotě veličiny, která je měřena.

Heslo 4.15 (5.12) VIM 3: rozlišení zobrazovacího zařízení je nejmenší rozdíl mezi zobrazenými indikacemi, který může být prokazatelně rozlišen.

Příklad vyhodnocení vlivu rozlišení podle lit. [2]

V mnoha aspektech každodenního života jsme postaveni před pochybnost, která vzniká, když hodnotíme, jak velké, nebo jak malé věci jsou. Např., když se někdo zeptá: „co si myslíte, jaká je teplota v této místnosti?“, můžeme odpovědět: „je okolo 24 °C“. Použití slova „okolo“ ukazuje, že víme, že teplota není přesně 24 °C, ale někde blízko ní.



Obr. 1: Příklad rozlišení při měření teploty teploměrem s číselným displejem (s rozlišením 0,05°C)

Jinými slovy to ukazuje, že jsou zde určité pochybnosti o hodnotě teploty, kterou jsme vyhodnotili, o jakousi kvantitativní informaci o této pochybnosti neboli nejistotu našeho vyhodnocení. Ta má více složek, ale v dalším textu se rozebírá jen jedna z nich, nejistota vlivem rozlišení zobrazení výsledku měření.

Jak dobře mohou teplotu odečítat? Zde je nutno znát jednoznačný limit, jakým můžeme rozlišit odečítání na teploměru.

- Bude-li to skleněný kapalinový teploměr, bude tento limit nejspíše ovlivněn naší schopností odečítat a interpolovat mezi značkami stupnice.
- Pokud půjde o číslíkové (digitální) odečítání, jak ukazuje **obr. 1**, bude limit určen posledním dílkem na displeji, který je u teploměru na **obr. 1** roven 0,1 °C.

Jelikož neznáme způsob zjištění, kde se v tomto rozsahu hodnota nachází, musíme předpokládat, že je zaokrouhlená. Např. předpokládejme, že poslední dílek digitálního teploměru se může měnit s krokem 0,1 °C. Odečet byl stanoven hodnotou 24,6 °C. Ale co to znamená ve spojitosti s nejistotou? Odečet je zaokrouhlená reprezentace neurčitěho pokračování dalších potlačených hodnot, které by teploměr identifikoval, měl-li by více digitů. V případě odečtu 24,6 °C to znamená, že potlačená hodnota není menší než 24,55 °C, jinak by bylo zaokrouhlení na 24,5 °C. Opačně, potlačená hodnota nemůže být vyšší než 24,65 °C, neboť by potom byla zaokrouhlená hodnota 24,7 °C. Odečet 24,6 °C tedy znamená, že potlačená hodnota leží někde mezi 24,55 °C a 24,65 °C. Jinými slovy, rozlišení displeje 0,1 °C způsobuje chybu zaokrouhlení někde mezi - 0,05 °C a + 0,05 °C. a chyba je odhadem nula s limitem ± 0,05 °C. Je tedy vidět, že zde bude vždy nejistota ± polovina změny, reprezentované přírůstkem posledního zobrazeného digitu (dílkem).

Nejistota zápisu čísla se nevztahuje pouze k digitálnímu displeji; platí vždy a je u každého zaznamenaného čísla.

Pokud například zapíšeme pro číslo 123,456 789 567 zaokrouhlený výsledek 123,456 způsobili jsme číselné zaokrouhlení, (které je při měření způsobené obvykle konečným rozlišením). Tím, že jsme zaokrouhlili na 3 desetinná místa, vznikla nejistota ± 0,0005.

Tento zdroj nejistoty je také často nazýván „rozlišením“, korektnějším by však bylo označení „zdroj nejistoty vlivem číselného zaokrouhlení, způsoběného konečným rozlišením.“

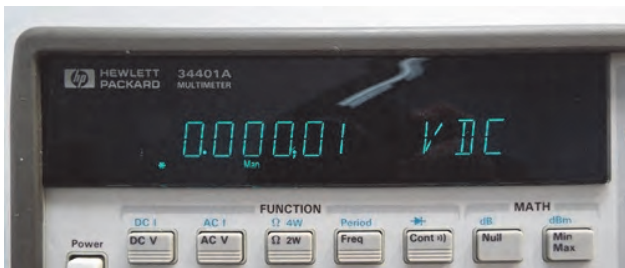
Vliv rozlišení - shrnutí

Limit schopnosti přístroje indikovat malé změny měřené veličiny, označené jako rozlišení, nebo „digitální chyba zaokrouhlení“, se vztahuje k systematické složce nejistoty.

Mnoho přístrojů s digitálním displejem používá analogově-digitální převodník (ADC) pro konvertování měřeného

analogového signálu do formy, která může být znázorněna numerickými znaky. Poslední zobrazený digit (dílek) je zaokrouhlená reprezentace dále již nezobrazeného zbytku analogového signálu. Vznikající chyba tímto postupem je v rozsahu od $-0,5$ posledního digitu (jinak by byl poslední digit o jeden menší) do $+0,5$ posledního digitu (jinak by byl poslední digit o jeden větší). Je proto uvedena kvantifikace této chyby jako $\pm 0,5$ posledního digitu. Protože zde není možnost zjištění, kde v tomto rozmezí skutečná potlačená hodnota leží, výsledná chyba se předpokládá nulová s mezemi $\pm 0,5$ posledního digitu. Protože nemáme důvod předpokládat, že by skutečná pravá hodnota výsledku byla blíže některé hodnotě uvnitř tohoto intervalu, musíme předpokládat pravoúhlé rozložení pravděpodobnosti pro celý interval $\pm 0,5$ posledního digitu.

„Digitální chybu zaokrouhlení“ $\pm 0,5$ posledního digitu není možné aplikovat ve všech případech a je potřeba porozumět činnosti přístroje, aby byla přiřazená realistická. Např. čítač frekvence s přímým vstupem má digitální chybu zaokrouhlení ± 1 poslední digit, na základě náhodného vztahu mezi měřeným signálem a interními hodinami. Některé přístroje mohou rovněž zobrazovat s hysterezí, která sama o sobě nemusí být vlastností zobrazení, může však vést k dalším nejistotám v řádu několika digitů.



Obr. 2: Příklad, digitální voltmetr, který má být kalibrován (s rozlišením 0,005V)

Poslední významná číslice na displeji DMM na obr. 2 odpovídá 0,01 V. Každá hodnota odečtená z DMM má korekci v důsledku konečné rozlišitelnosti displeje. Korekce displeje je odhadnuta na 0,00 V s mezemi $\pm 0,005$ V (tj. polovina velikosti poslední významné číslice).

Příklad podle obr. 3 ukazuje stopky se čtením na setiny vteřiny (s rozlišením 0,01s). Jedná se přímé počítání jednotek časového intervalu podle času odvozeného z krystalu časové základny, rozlišení je 0,01 s.



Obr. 3: Stopky se čtením na setiny vteřiny (s rozlišením 0,01s)

U analogových přístrojů je efekt rozlišení určen praktickou schopností odečtení polohy ukazatele na stupnici. V takovém případě je aktuálně odečtený poslední dílek zdrojem nejistoty nejméně $\pm 0,5$ nejmenšího dílku stupnice. Existence elektrického šumu, který způsobuje fluktuace

u odečtu, obvykle určuje použitelné rozlišení, přesto je možno učinit uspokojivý odhad střední pozice pohybujícího se ukazatele okem.



Obr. 4: Analogový přístroj, za pozornost stojí i nožová ručka a podkladní zrcátko, které umožňují potlačit chybu čtení vlivem paralaxy (šikmého pohledu)

Horní dvě stupnice na obr. 4 jsou s téměř lineárním dělením, rozlišení na lineární stupnici, pokud měří běžný pracovník je 0,5 dílku, u zkušeného pracovníka asi 0,3 dílku a při pečlivém měření s pomůckami jako je pomocná lupa až 0,2 dílku. U stupnice k Ω na obr. 4 záleží rozlišení na měřené hodnotě a nelze ho jednoduše popsat (protože je to lineární díl z délky příslušné nelineární části stupnice).

Na obr. 5 digitální výstup referenčního útlumového článku má rozlišení 0,001 dB, z kterého lze odhadnout korekci na rozlišení ve výši $\pm 0,0005$ dB. (podrobněji viz odstavec S7.8 v lit. [1]).



Obr. 5: Referenční útlumový článek (rozlišení je podle poslední nastavitelné polohy, zde 0,0005 dB)

Rozlišení a výpočty nejistoty

Limit schopnosti přístroje indikovat malé změny měřené veličiny, označené jako rozlišení, se vztahuje k systematické složce nejistoty měření (složka B). Přístroje s digitálním displejem používají analogově-digitální převodník (ADC) pro konvertování měřeného analogového signálu do formy, která může být znázorněna numerickými znaky. Poslední zobrazený digit (dílek) je zaokrouhlená reprezentace dále již potlačeného analogového signálu. Vznikající chyba tímto postupem je v rozsahu od $-0,5$ digitu (jinak by byl poslední digit o jeden menší) do $+0,5$ digitu (jinak by byl poslední digit o jeden větší). Je proto uvedena kvantifikace této chyby jako $\pm 0,5$ digitu. Protože zde není možnost zjištění, kde v tomto rozmezí skutečná potlačená hodnota leží, výsledná chyba se předpokládá nulová s mezemi $\pm 0,5$ digitu.

Se situací, kdy k nejistotě měření přispívá pouze jeden nebo několik málo dominantních členů, se často setkáváme v souvislosti s méně složitými měřicími přístroji, u nichž je dominantní člen nejistoty často způsoben omezenou rozlišovací schopností přístroje. Proto se může zdát paradoxní, že zpracování nejistoty měření pro méně složitější přístroje, jak je ukázáno na příkladech uvedených v doplňku 2

k EA-4/02 M:2013 [1], je mnohem složitější, než zpracování přímočarých příkladů v doplňku 1. Je však zapotřebí mít na zřeteli, že matematická odvození, která lze vnímat jako komplikaci, nejsou popsána v hlavním textu dokumentu EA-4/02 M:2013 doplňku S, ale jsou z pedagogických důvodů uvedena až v místech, kde jsou potřeba.

Záměrem analýzy nejistoty uvedených příkladů v doplňku 2 dokumentu EA-04/02 M:2013 je ukázat základy určitých měřicích postupů a předvést metodu stanovení výsledku měření a s ním spojené nejistoty. Pro výběr symbolů veličin byla zvolena jednotná metoda tak, aby analýza byla srozumitelná i těm, kdo nejsou experty v příslušné oblasti metrologie a výklad se zaměřil spíše na fyzikální podstatu než na praxi, obvykle užívanou v různých oborech. Ve všech uvedených případech je použito několik opakujících se veličin. Jednou z nich je měřená veličina, druhou je veličina představovaná pracovním etalonem, který realizuje lokálně používanou jednotku. S touto veličinou se měřená veličina porovnává. V uvedených případech je kromě těchto dvou veličin řada dalších, které mají roli dalších lokálních veličin nebo korekcí. Korekce popisují nedokonalou rovnost mezi měřenou veličinou a výsledkem měření. Některé z korekcí jsou dány úplnými výsledky měření, tj. změřenou hodnotou a nejistotou měření, která se k ní vztahuje. V dalších případech je rozdělení hodnot odvozeno více či méně z důkladné znalosti jejich podstaty. Toto povede ve většině případů k odhadu mezi neznámých odchylek. V některých případech je veličina představovaná pracovním etalonem charakterizována jmenovitou hodnotou etalonu. To znamená, že do analýzy nejistoty často vstupují jmenovité hodnoty, které obecně řečeno charakterizují nebo určují vytvořený kalibrační etalon. Příklady byly navrženy tak, aby se mohla dodržet pravidla zápisu, která jsou uvedena níže a přitom aby se mohly odlišit matematické modely stanovení nejistot ve výše uvedených pojetích.

V dokumentu EA-04/02 M:2013 [1], doplněk 2, odstavec S 9.11 je na příkladu ukázáno, jak se počítá rozšířená nejistota pro přístroje, které mají „krátké“ stupnice (3,5 digitů). Uvádí se, že „standardní nejistotě měření vztahované k výsledku zřetelně dominuje vliv konečné rozlišitelnosti DMM. Výsledné rozdělení není normální, ale v podstatě rovnoměrné. Proto nelze použít metodu efektivních stupňů volnosti popsanou v příloze E dokumentu EA-4/02 M:2013. Koeficient rozšíření, který přísluší rovnoměrnému rozdělení, se vypočte ze vztahu daného rovnicí (S9.8) v matematické poznámce S9.14.“

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 %.

Zápis měření s ohledem na rozlišení

Podle ILAC-P14:01/2013 [3], se stanovuje v odstavci 6.2, 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 .

K tomu se musí doplnit vysvětlující poznámka, která může mít následující obsah:

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

Podle odstavce 6.3 (stále ILAC-P14:01/2013) musí být numerická hodnota rozšířené nejistoty udána na nejvýše dvě platné číslice. Dále platí následující:

- V konečném vyjádření musí být numerická hodnota výsledku měření zaokrouhlena na nejnižší platnou číslici hodnoty rozšířené nejistoty přiřazené danému výsledku měření.
- Při zaokrouhlování se musí použít obvyklá pravidla pro zaokrouhlování za podmínky dodržení pokynů pro zaokrouhlování, tj. v článku 7 GUM a v normě ISO 80000-1:2009.

Příklady

Použijeme příklady z oblasti elektrických veličin, pro měření stejnosměrného napětí. V příkladech jsou uvažovány přístroje s „krátkou“ stupnicí, od 2 digitů do $4\frac{3}{4}$ digitů a s „dlouhou“ stupnicí pro 5,5 digitů až 8,5 digitů tak, jak je to děleno i v lit. [4] EURAMET cg 15.

Obvykle jsou k dispozici kalibrátory s „dlouhou“ stupnicí 6,5 digitů s nejistotou řádu 10 ppm. Kalibrované voltmetry mohou mít „krátkou“ stupnici, (nejčastěji 3,5 digitů, to je displej do 2000 dig.) až po „dlouhou“ stupnici s 6,5 až 8,5 digitů, (to je 100 000 000 dig.).

Podle toho, jaký je použit kalibrátor a jaký je kalibrovaný přístroj, může nastat několik možností (uvedena je jen část tabulky).

Příklad 1:

Applied voltage	Measurement Range	Instrument Reading		Measurement Result		
		Initial Calibration	Final Calibration	Initial Error	Final Error	Uncertainty
0,000 00 Ω	10 Ω	0,000 01 Ω	0,000 00 Ω	10 $\mu\Omega$	0 $\mu\Omega$	20 $\mu\Omega$
10,000 17 Ω		10,000 49 Ω	10,000 17 Ω	32 $\mu\Omega/\Omega$	0 $\mu\Omega/\Omega$	6 $\mu\Omega/\Omega$
10,000 17 Ω	100 Ω	10,000 17 Ω	10,000 14 Ω	0 $\mu\Omega/\Omega$	-3 $\mu\Omega/\Omega$	9 $\mu\Omega/\Omega$
100,001 24 Ω		100,001 11 Ω	100,001 32 Ω	-1,3 $\mu\Omega/\Omega$	0,8 $\mu\Omega/\Omega$	5,0 $\mu\Omega/\Omega$

Správně

Obř. 6: Kalibrátor s „dlouhou“ stupnicí je užít ke kalibraci voltmetru s „dlouhou“ stupnicí.

Počet míst odpovídá nejistotě měření. Výsledek je zapsán **správně**, příklad je zvolen podle [4] str. 13 a odpovídá i požadavku podle ILAC-P14:01/2013, bod 6.3 v [3].

Příklad 2:

Applied voltage	Instrument	
	range	reading
1 V	1 V	+0,999 V

Chybně

Obř. 7: Kalibrátor s „dlouhou“ stupnicí je užít ke kalibraci voltmetru s „krátkou“ stupnicí, varianta zápisu č. 1.

Výsledek je zapsán **chybně**, Applied voltage je udáno jen na $\pm 0,5$ V, to nepostačuje.

Příklad 3:

Applied voltage	Instrument	
	range	reading
1,000 V	1 V	+0,999 V

Chybně

Obr. 8: Kalibrátor s „dlouhou“ stupnicí je užít ke kalibraci voltmetru s „krátkou“ stupnicí, varianta zápisu č. 2

Výsledek je zapsán **chybně**, uveden je na stejný počet míst u kalibrátoru i kalibrovaného přístroje (Applied voltage je udáno jen na $\pm 0,5$ mV), kalibrátor je udán hůře než je skutečnost a neumožnil by správnou kalibraci zhoršením nejistoty, udáním nejistoty kalibrátoru na málo míst. Velmi častá chyba v praxi.

Příklad 4:

Applied voltage	Instrument	
	range	reading
1,000 0 V	1V	+0,999V

Vyhovuje

Obr. 9: Kalibrátor s „dlouhou“ stupnicí je užít ke kalibraci voltmetru s „krátkou“ stupnicí, varianta zápisu č. 3

Zápis výsledku vyhovuje, větší počet udaných počet míst u kalibrátoru než kalibrovaného přístroje neznanáší ztelné zhoršení nejistoty, i když by kalibrátor správně měl být udán podle jeho nejistoty většinou na více míst.

Příklad 5:

Applied voltage	Instrument		Measurement Result	
	Range	Reading	Error	Uncertainty
+20,00 mV	100 mV	+20,0 mV	0,00 mV	0,06 mV
+100,00 mV		+99,9 mV	-0,10 mV	0,06 mV
-100,00 mV		-99,9 mV	0,10 mV	0,06 mV
+0,200 0 V	1 V	+0,200 V	0,0 mV	0,6 mV
+1,000 0 V		+0,999 V	-1,0 mV	0,6 mV
-1,000 0 V		-0,999 V	1,0 mV	0,6 mV

Správně

Obr. 10: Kalibrátor s „dlouhou“ stupnicí je užít ke kalibraci voltmetru s „krátkou“ stupnicí, varianta zápisu č. 4.

Výsledek je **správně**, příklad je zvolen podle [4] str. 11.

Historická poznámka

Ještě před 50 lety byla měření vyhodnocována prakticky jen analogově. Ke zlepšení rozlišitelnosti se začaly u měřidel používat ručky nožového tvaru a podkladní zrcátka na stupnici, určené k omezení chyby šikmým čtením obsluhou. Stupnice se dala prodloužit promítáním světelného paprsku přes zrcátka na systému měřidla místo ručky na větší vzdálenost, například na stěnu laboratoře (světelná náhrada ručky se tím prodloužila až na několik metrů).

Po zvládnutí výroby úrovní vhodných integrovaných obvodů se začaly dělat přístroje digitální. Na jejich úplném počátku, kdy byly jen 3 místné (údaj do 1 000) a 3,5 místné (údaj do 2000) a někteří metrologové z přeblikávání posledního místa odhadovali ještě jedno, neviditelné místo. Bylo zvykem odhadovaná místa psát menším písmem, takzvaně poníženě. Velmi rychle ale byly vyvinuty převodníky až pro 8,5 dig a proto jsou nyní k dispozici měřidla, kde rozlišení již není významným zdrojem nejistoty.

Dílčí závěr:

Vždy existuje nejistota vlivem rozlišení, obvykle \pm polovina změny představované jedním přírůstkem poslední zobrazené číslice. Toto se nevztahuje pouze na digitální displeje; platí při každém zaznamenávání čísla. Pokud zapíšeme zaokrouhlený výsledek 123,456 tím, že jsme tento výsledek zaznamenali na tři desetinná místa vznikne nejistota 0,0005 (lit. [1] bod 2.8.4). Toto se ale nesmí aplikovat automaticky, existují i případy prostého počítání, například u čítačů a stopek, kde aplikujeme \pm celou změnu představovanou jedním přírůstkem poslední zobrazené číslice. U jednohodnotových etalonů rozlišení závisí na tom, jak byla jejich hodnota stanovena a u analogových zobrazení závisí rozlišení hodně na způsobu odečtu výsledku i na tom, zda se uplatní při čtení i šum a hystereze, která je u starších analogových měřidel (s měřicím systémem uloženým na ose) častější než u moderních provedení (s měřicím systémem na vlákně).

Literatura

- [1] EA-04/02 M:2013 *Vyjádření nejistoty měření při kalibraci (Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration*, September 2013).
- [2] UKAS M 3003, edice 2, leden 2007, M3003, *The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement*, edition 2, UKAS 2007.
- [3] ILAC-P14:01/2013 *Politika ILAC pro nejistoty při kalibraci (ILAC Policy for Uncertainty in Calibration)*.
- [4] EURAMET cg-15 Version 3.0 (02/2015) *Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters (Previously EA-10/15)*.
- [5] *Terminologie z oblasti metrologie*, UNMZ, Sborníky technické harmonizace 2010 (2. vydání), obsahuje VIM 3 a VIML, dostupné na <http://www.unmz.cz/urad/terminologie-v-metrologii>.
- [6] *Kalibrační list je vizitkou laboratoře- část 1*, Horský, Metrologie 2/2019, str. 4
- [7] *Kalibrační list je vizitkou laboratoře- část 2*, Horský, Metrologie 2/2019, str. 9
- [8] *Kalibrační list je vizitkou laboratoře- část 3*, Horský, Metrologie 3/2019, str. 20

POZNÁMKA- podrobnější seznam literatury bude v části číslo 5.

TONOMETRIE

ČÁST 1 – MECHANICKÉ A ELEKTRONICKÉ KONTAKTNÍ TONOMETRY

Mgr. Kateřina Drbálková*Český metrologický institut
Slovenská technická univerzita, Strojnická fakulta***Ing. Vítězslav Suchý***Český metrologický institut***Abstrakt:**

Tonometry patří mezi základní oftalmologické přístroje pro měření nitroočního tlaku. Řadí se mezi neinvazivní metody měření nitroočního tlaku, a proto jsou součástí vybavení oční vyšetřovny lékaře či optometristy. Oční tonometry náleží mezi zdravotnické prostředky s měřicí funkcí se zařazením do klasifikační třídy IIa. Všechny typy očních tonometrů (kontaktních a bezkontaktních) jsou ve smyslu § 3, odst. 3 zákona o metrologii č. 505/1990 Sb. v platném znění, stanovenými měřidly podléhajícími povinnosti periodického ověřování ve lhůtách stanovených Ministerstvem průmyslu a obchodu č. 345/2002 Sb. přílohy 2.3.1. a), b) v platném znění. U kontaktních očních tonometrů je doba platnosti ověření stanovena na 1 rok. U bezkontaktních očních tonometrů je doba platnosti ověření stanovena na 2 roky. Všichni poskytovatelé zdravotní péče, kteří používají oční tonometry, to jsou oční lékaři v soukromém nebo státním sektoru, případně zodpovědní techničtí pracovníci státních nemocnic, jsou povinni vést evidenci a předkládat tato měřidla před uplynutím platnosti k novému ověření, podle § 18 písm. a), b) zákona č. 505/1990 Sb. v platném znění a dále podle zákona o zdravotnických prostředcích č. 268/2014 Sb. v platném znění.

Nitrooční tlak (IOP) je jedním z nejdůležitějších parametrů v diagnostice glaukomu (neboli zeleného zákalu), je závislý na rovnováze mezi tvorbou a odtokem nitrooční tekutiny. Úplný klinický obraz u glaukomového onemocnění není charakterizován pouze zvýšeným nitroočním tlakem, ale také exkavací a atrofií disku zrakového nervu, typickým poškozením je odumírání svazků nervových vláken, což se projevuje drobnými změnami a výpadky v zorném poli pacienta a může končit úplnou ztrátou vidění. Podle posledních údajů Světové zdravotnické organizace (World Health Organization) je glaukom třetí nejčastější příčinou slepoty ve světě [1] a odhaduje se, že do roku 2020 se výskyt glaukomu až dvojnásobí [2]. Nitrooční tlak je vyjádřen v milimetrech rtuťového sloupce (mmHg), kde 1 mmHg = 0,1333 kPa. Za fyziologické hodnoty IOP jsou považovány hodnoty v rozmezí od 10 mmHg do 10 mmHg. Zvýšený IOP nemusí být vždy známkou glaukomového onemocnění, pokud nejsou přítomny žádné funkční a morfológické změny na očním pozadí, může se jednat o tzv. oční hypertenzi. Ale i naopak, glaukom se může vyvinout i při normálním, a dokonce nižším IOP.

ZPŮSOBY MĚŘENÍ NITROOČNÍHO TLAKU

Měření nitroočního tlaku tzv. tonometrie, je metoda zjišťování velikosti nitroočního tlaku, kdy výška nitroočního tlaku odpovídá velikosti síly, kterou bylo nutné vyvinout k dosažení aplanace neboli oploštění rohovky. Za objevitele glaukomu je považován lékař Mackenzie, který se v roce 1830 snažil objasnit příčiny zvýšeného nitroočního tlaku. Až do první poloviny 19. století neexistovalo žádné měřidlo pro stanovení nitroočního tlaku u pacienta. V dnešní době můžeme hodnoty nitroočního tlaku měřit pomocí impresního, aplanáčního a bezkontaktního tonometru a zvláštní skupinu tvoří tzv. rebound tonometrie. V tomto článku budou popsány jen kontaktní oční tonometry – impresní a aplanáční.

Historie měření nitroočního tlaku

Nejstarší subjektivní metodou odhadu nitroočního tlaku, podle pohmatu přes oční víčko, je palpační vyšetření očního napětí. Tato metoda je výhradně orientační, lze tak zjistit pouze vysoké či nízké hodnoty IOP a porovnat odhady hodnot IOP na obou očích. Vyšetření se provádí nejčastěji dvěma prsty přiloženými současně na jedno oko, to samé se provede na druhém oku a porovná se tlak potřebný ke stlačení bulbu, nebo se prsty položí zároveň na obě oči a porovná se rozdíl napětí. Důležitost měření očního napětí zdůraznil již v roce 1852 oční lékař Sir William Bowman a zanedlouho se tento způsob měření IOP stal základním vyšetřením, kdy malé odchylky hodnot IOP mezi pravým a levým okem pozná jen zkušený oční lékař. Koncem 19. století byl vynalezen první mechanický tonometr Albrechtem von Graefem, který ale nebyl nikdy zkonstruován. Další tonometr vytvořil v roce 1865 Donders, jehož princip byl založen na tlaku pístu pomocí závaží, který působil přímo na skléru. Takže se u obou tonometrů měřila velikost stlačení bělimy od její původní pozice, kdy oční lékař nejdříve změřil zakřivení skléry v místě kontaktu s přístrojem a poté použil tento rozměr jako základní rovinu k měření prohloubení způsobené tonometrem. [3, 4]

Impresní tonometrie

Mezi první metody měření nitroočního tlaku v oku, díky objevu rohovkové anestezie, patří impresní tonometrie, jelikož do této doby nebylo možné provádět měření přímo na rohovce. Nejrozšířenějším zástupcem, který byl navržen norským oftalmologem Hjalmarem Schiøtzem začátkem roku 1900, je **Shiøtzův impresní tonometr (obr. 1)**.

Tento mechanický přístroj je složen z pohyblivého pístu (peloty), který je spojen s válcovou tyčinkou, která na stupnici v horní části ukazuje hodnoty měření. Kontaktní pelota je na svém dolním konci zaoblena, má konkávní tvar o průměru 3 mm a kopíruje povrch přední plochy rohovky. Stupnice měřidla musí mít minimálně 15 dílků, jednomu dílku stupnice odpovídá hloubka posunutí peloty o 0,05 mm. Tlak lze určit, na základě zatížení základny tonometru o přesně



Obr. 1: Shiotzův impresní tonometr se závažími

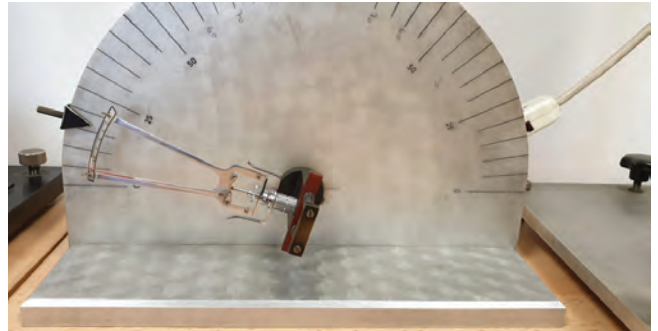
definované hmotnosti ve vertikálním směru a současném posuvu peloty v ose základny závažími o definované celkové hmotnosti, které způsobí deformaci ve střední části rohovky.

Před samotným měřením je nezbytná lokální anestezie rohovky, pacient leží na zádech a fixuje daný bod přímo před sebou. Na začátku měření se používá nejnižší závaží o hodnotě 2,0 g a jestliže ukazatel na stupnici naznačuje hodnoty menší než 4, přidává se vyšší hmotnost závaží. Hmotnost přídavného závaží používáme podle odporu rohovky, tak aby naměřená hodnota IOP byla co nejpřesnější a pohybovala se v rozmezí od 3. až 7. dílku na stupnici. Používáme tři závaží s označením 7,5; 10,0 a 15,0, což značí součet jejich skutečných hmotností s efektivní hmotností o hodnotě 5,5 g. Efektivní (měřicí) hmotnost je součet jednotlivých hmotností: páky, ukazatele a peloty ve vertikální poloze. Nevýhodou je, že na oko působí i celková hmotnost měřidla, nejenom hmotnost peloty. Hmotnost tonometru bez držáku je $(16,5 \pm 0,5)$ g. **Ověřování impresního očního tonometru** se skládá z následujících zkušebních úkonů: vizuální prohlídky, kontroly hmotností jednotlivých komponentů měřidla, kontroly délkových rozměrů, kontroly parametrů ukazatele, kontroly povrchu a hrotu peloty, kontroly povrchu základny, kontroly údajů na testovacím kulovém bloku, kontroly tření tonometru ve stupních sklonu, zkoušky zdvihu peloty, kontroly parametrů vlastního testovacího bloku a zápisu o zkoušce a opatření měřidla úřední značkou. Největší dovolené chyby

(maximální kladný nebo záporný rozdíl), povolený předpisem, mezi indikací očního tonometru a odpovídající referenční hodnotou zkušebního zařízení je uvedený v **tab. 1**.

Pan doktor Schiøtz kalibroval svůj přístroj na pokusech s enukleovaným (odstraněným) okem, kanylou a nádobou s tekutinou, která byla propojena s manometrem, tím získal výchozí hodnotu IOP v oku. Regulačním kohoutem na kanyle mezi bulbem a manometrem nastavil požadovanou hodnotu IOP

Obr. 2: Kontrola celkové hmotnosti Shiotzova tonometru



Obr. 3: Kontrola tření Shiotzova tonometru



Obr. 4: Kontrola údajů Shiotzova tonometru na testovacím kulovém bloku



Obr. 5: Zkouška zdvihu peloty Shiotzova tonometru

a provedl vlastní měření. Měřením se zabýval i Friedenwald, který odvodil vztah mezi logaritmem tlaku a změnou objemu, a tím určil hodnotu konstanty $K = 0,1215$ [5], která udává hodnotu koeficientu oční rigidity. Z naměřených hodnot sestavil přepočtové tabulky pro přepočet nitroočního tlaku v milimetrech rtuťového sloupce (mmHg).

Přesnost impresního měření IOP je založena na dodržení hmotnostních a délkových parametrů. Každý impresní tonometr má ve své výbavě vlastní kalibrační zařízení se zakřivením $R_k = (16,00 \pm 0,05)$ mm, tomu odpovídá poloha ručičky na stupnici $(0,0 \pm 0,2)$ dílku. Nebo testovací plochu o poloměru $R_k = (15,00 \pm 0,05)$ mm, pro kterou platí poloha na stupnici tonometru $(-1,0 \pm 0,2)$ dílku. Mezi nepřesnosti, které ovlivňují výsledek měření, patří tření mezi pelotou a základnou tonometru. Zároveň povrch peloty musí být hladký, bez výstupků a vrypů, které by mohly poškodit rohovku. Dále faktor rozdílné sklerální rigidity jednotlivých očí, což je dáno různou elasticitou skléry a velikostí oční koule, proto můžeme naměřit falešně vyšší hodnoty IOP například u hypermetropů a falešně nižší hodnoty tlaku u lidí s vysokou myopií či pacientů po laserových zákrocích. Nesmíme opomenout ani vlivy vyšetřujícího a vyšetřovaného (pacient nesmí při měření svírat oční víčka), a vliv mechaniky přístroje. [6, 7, 8, 9]

Aplanační tonometrie

První aplanační tonometr představil Albert Weber již v roce 1867. Významnějším se však stal v roce 1950 **Goldmannův aplanační tonometr (GAT)**, který je dnes označován jako „zlatý standard“ tonometrie. Množství tonometrů je založeno na této konstrukci. Goldmannův tonometr (**obr. 6**) je mechanicko-optický aplanační tonometr, který využívá principu oploštění rohovky kontaktní hlavicí nebo kontaktním senzorem o přesně definovaném průměru, na jehož základě lze stanovit sílu odpovídající nitroočnímu tlaku. Aplanační tonometry vychází z principu tzv. Fick-Imbertova zákona, který říká, že tlak p uvnitř ideální tenkostěnné koule se spočítá jako podíl síly F , která způsobí aplanaci této koule plochou S .

Zákon lze vyjádřit pomocí následujícího vzorce $p = \frac{F}{S}$. Jelikož oko, respektive rohovka, nespĺňuje ani jeden z požadavků ideální koule (je asférická, má určitou tloušťku, je pokryta slzným filmem s nenulovým povrchovým napětím a má nenulovou rigiditu) a klade proti stlačení odpor, je nutné upravit Fick-Imbertův zákon do podoby, který tyto vlastnosti rohovky zohledňuje $F + s = p \times S + b$, kde s vyjadřuje sílu povrchového napětí způsobené slzným filmem, který přitahuje tonometr a b je síla způsobená tuhostí rohovky. Jestliže je aplanační průměr rohovky 3,06 mm, pak se obsah aplanované plochy rovná $S = 7,35 \text{ mm}^2$ pro tloušťku rohovky 520 μm [10]. Tato plocha aplanované oblasti je volena tak, aby se síly s a b navzájem vyrušily. Nové studie [11] poukazují na to, že liší-li se tloušťka rohovky od výše zmíněné hodnoty je nutné ji při měření zohlednit, avšak výsledek nitroočního tlaku závisí i na dalších vlastnostech očních struktur.

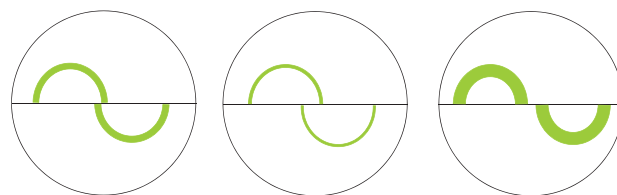


Obr. 6: Goldmannův aplanační tonometr

Goldmannův aplanační tonometr, který se instaluje na šterbinovou lampu, jehož hlavní část tvoří optický systém ve formě dvojitého klínu, dále objímka v podobě komolé-

ho kužele, vlastní tělo přístroje a stupnice, která je umístěna po straně na otočném ovládacím prvku. Uvnitř přístroje je mechanismus se soustavou závaží a pomocí regulačního šroubu měníme tlak kužele na rohovku. Je to invazivní metoda měření nitroočního tlaku, jenž je zapotřebí anestezie rohovky a aplikace fluorescenční látky do spojivkového vaku k obarvení povrchu rohovky. Pro vyvolání lepší viditelnosti obarvených slz, osvětlíme oko pomocí přídavného modrého (kobaltového) filtru a pozorujeme obraz se zvětšením 10 - 20krát. Mezi nevýhody GAT patří spojení se šterbinovou lampou a nutná sterilizace kontaktní plochy po každém měření, která zabraňuje přenosu a šíření infekcí.

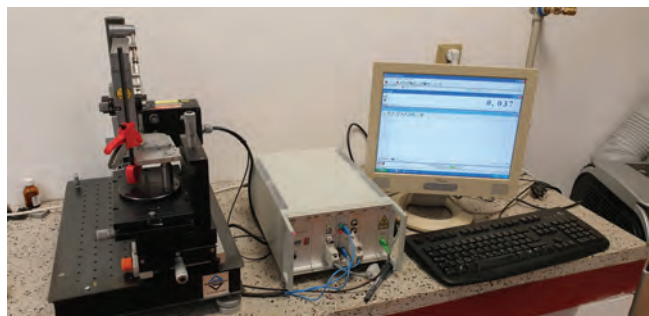
Měření na Goldmannově tonometru začíná nastavením nuly na měřicí stupnici, pomalým zvyšováním tlaku nastavíme hodnotu 10 mmHg, tak abychom vyvíjeli pouze lehký tlak na centrum rohovky. Goldmannova teorie míní, že síla jednoho gramu potřebná k oploštění centrální části rohovky je rovna IOP o hodnotě 10mmHg. V objektivu biomikroskopu šterbinové lampy, po přiložení aplanačního tělesa ve tvaru kužele na rohovku, vidíme dva žlutozelené oblouky, které se vytvoří díky stavbě aplanační plochy, která je tvořena dvěma prizmaty s opačně orientovanými bázemi. V momentu, kdy na sebe půlkruhy fluorescenčního menisku navazují (**obr. 7**, první rohovka) a mají správnou tloušťku, přístroj vyvíjí na oko stejný tlak jako je uvnitř oka, můžeme na stupnici odečíst hodnotu IOP. Může nastat situace, že šířka půlkruhů je příliš slabá nebo silná, pak hodnoty nitroočního tlaku jsou buď nižší nebo vyšší (**obr. 7**, druhá a třetí rohovka).



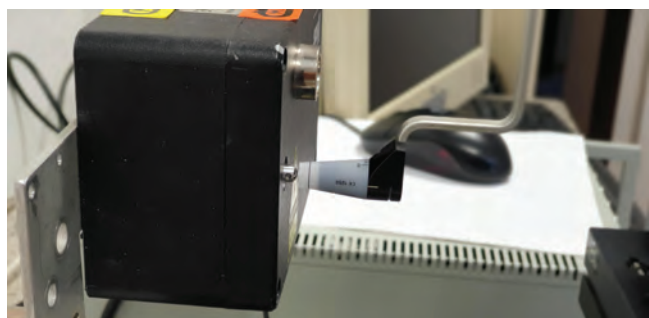
Obr. 7: Možnosti zobrazení fluorescenčního menisku při aplanační tonometrii přístrojem GAT: na první rohovce je správná koincidence vnitřních okrajů půlkruhů, na druhé rohovce je aplanovaná plocha malá, na třetím obrázku je aplanovaná plocha rohovky příliš velká

Plocha aplanace je kruhová s průměrem 3,06 mm a výrobní tolerance k průměru aplanační kružnice je $\pm 0,02 \text{ mm}$. Průměr aplanační plochy podle Goldmanna byl zvolen tak, aby tlak 0,98 mN činil přesně 1 mmHg. Přední (kontaktní) plocha hlavy tonometru musí mít v místě dotyku s rohovkou průměr nejméně 6,0 mm a musí být hladká na dotek, u měření délky nesmí odchylka etalonu přesáhnout 0,004 mm. Při vizuálním zkoumání při přímém osvětlení musí být povrch bez povrchových nedokonalostí (bez trhlin, prasklin a zubů), neboť by mohly poškodit rohovku. Vnější hrana hlavy tohoto tonometru musí být vyhlazena. Musí být zachována i rovinnost přední plochy hlavy tonometru. Měřicí síla musí být plynule nastavitelná v minimálním rozsahu od 0 mN do 49,0 mN bez použití pomocných závaží. Naměřená hodnota síly musí být zřetelně čitelná v lineárně dělené stupnici nebo v digitální podobě. Pokud jsou na měřicí stupnici čárky, musí být vyryty nebo trvale označeny na stupnici, dále je třeba dodržet rovinnost čar a šířka všech linek musí být stejná, žádná

čárka nesmí být širší než 1/4 vzdálenosti mezi dvěma sousedícími dílky. Hlavní stupnice musí být očíslována. Jeden dílek stupnice představuje buď hodnotu síly 0,98 mN nebo 1,96 mN. Pokud se používá digitální displej, musí být přírůstky síly menší nebo rovné 1 mmHg. Změna síly potřebná k přesunutí hlavice tonometru v opačném směru (rezervní rozpětí) v přechodovém bodě nesmí překročit 0,49 mN. Pokud je hlava tonometru nastavena do ověřovací polohy, musí být tolerance měřené hodnoty síly v měřicím rozsahu $\pm 1,5\%$ jmenovité (nominální) hodnoty nebo $\pm 0,49$ mN. Účinek hystereze pro měřicí sílu nesmí přesáhnout 0,29 mN. Goldmannův aplanační tonometr je navržen na průměrnou tloušťku rohovky o hodnotě 520 μm se zakřivením přední plochy rohovky o velikosti 7,8 mm. **Ověřování aplanačního očního tonometru** se skládá z následujících zkušebních úkonů: vizuální prohlídka, kontroly přitlačného tělíska, kontroly optických vlastností měřidla, kontroly mechanických vlastností měřidla, efektu hystereze, měření správnosti měřicí síly, zkoušky opakovatelnosti měřených hodnot síly, opatření měřidla úřední značkou – zajišťující výrobní štítek měřidla a místa, která umožňují přístup k justáži, se zajistí zajišťujícími značkami. Pokud výrobce nestanoví jinak, platí největší dovolené chyby pro kontaktní tonometry viz **tab. 1**.



Obr. 8: Měřicí soustava pro ověřování Goldmannova tonometru



Obr. 9: Detail měření síly přitlačného tělíska Goldmannova tonometru

Měření aplanačním tonometrem odstraňuje většinu nepřesností, ke kterým dochází při použití impresního tonometru. Oční rigiditu rohovky můžeme zanedbat, jelikož aplanace rohovky probíhá pouze na malé ploše. Vyšetření je rychlé, přesné, jednoduché a spolehlivé, proto je upřednostňováno oftalmologů. Chyby měření mohou nastat u pacientů s vysokým nepravidelným rohovkovým astigmatismem či s rohovkovými jizvami, z toho důvodu je vhodné provést měření dvakrát, a to jak ve vodorovné, tak ve vertikální poloze

a výsledky z obou měření poté zprůměrovat. Měření též ovlivňuje centrální tloušťka rohovky i zakřivení rohovky, máme namysli odlišnost fyziologického standardu oka od vyšetřovaného. Je zřejmé, že při strmějším zakřivení i silnější centrální tloušťce musí být rohovka oploštěna větší silou aplanační plošky. Další chybou při měření je sevření očních víček a dotyk s objímkou kužele či naopak přílišná snaha co nejvíce otevřít oční víčka, kvalita slzného filmu, jestliže nejsou slzy dostatečně obarveny fluoresceinem, měření je tak ztíženo, dále edém rohovky, nespolečné vyšetřovaného (zadržování dechu, nepřetržitá akomodace oka, změna pohledové osy oka) i nepřesné měření ze strany vyšetřujícího (dlouhodobý kontakt aplanační hlavice s rohovkou). Pacienti se očními chorobami, které jsou vyjmenovány níže v textu, musí být pro tato konkrétní srovnávací klinická měření vyloučeni. Následujícími kritérii jsou: monokulus (pacient s jedním vidoucím okem), špatná nebo excentrická fixace, vysoký rohovkový astigmatismus, chirurgické operace na rohovce, laserová refrakční chirurgie, mikroftalmus (výrazné zmenšení celého oka), buftalmus (výrazné zvětšení celého oka), nasažené kontaktní čočky, syndrom suchého oka, blefarospasmus (křeč očních víček), nystagmus (rytmicky kmitavý pohyb očních bulbů), keratokonus (onemocnění rohovky při kterém dochází k vyklenutí, deformaci a změně tloušťky rohovky), patologie či infekce rohovky a spojivky, pacienti s tloušťkou rohovky větší než 600 μm nebo menší než 500 μm . [6, 7, 8, 9]

Mezi další představitele aplanačních tonometrů patří Pascal, Perkinsův a Draegerův aplanační tonometr, Tono-pen a pneumatonometr. Pracují na stejném principu jako Goldmannův aplanační tonometr nebo jsou kombinací výše zmíněných metod.

Tabulka 1: Největší dovolené chyby kontaktního očního tonometru

Měřicí rozsah (mmHg)	Největší dovolená chyba (mmHg)
od 7 až do 16	$\pm 1,5$
nad 16 až do 23	$\pm 2,0$
nad 23	$\pm 3,0$

ZÁVĚR

V tomto článku jsou představeny zástupci **kontaktních tonometrů**, které řadíme mezi zdravotnické prostředky s měřicí funkcí, které jsou podle zákona o metrologii č. 505/1990 Sb. stanovenými měřidly a podléhají pravidelnému ověřování (perioda je jeden rok). Metrologická kontrola očních tonometrů by měla zajistit spolehlivou a správnou diagnostiku zeleného zákalu v oftalmologické praxi. Jsou popsány možnosti metrologického zabezpečení kontaktních očních tonometrů v Českém metrologickém institutu, resp. v Oblastním inspektorátu Most.

LITERATURA

- [1] World Health Organization (WHO). *Global data on visual impairments 2010* [online]. © 2012 [cit. 2019-08-19]. Dostupné z: <http://www.who.int/blindness/GLOBALDATAFINALforweb.pdf?ua=1>.

- [2] World Glaucoma Association (WGA). *What is Glaucoma?* [online]. © 2019 World Glaucoma Association [cit. 2019-08-19]. Dostupné z: <https://wga.one/wga/what-is-glaucoma/>.
- [3] KALAYOGLU, Murat V. *180 Years of Evolution of the Tonometer* [online]. © 2007-2019 Ophthalmologyweb [cit. 2019-08-20]. Dostupné z: <https://www.ophthalmologyweb.com/Tech-Spotlights/26468-180-Years-of-Evolution-of-the-Tonometer/>.
- [4] BENEŠ, Pavel. *Přístroje pro optometrii a oftalmologii*. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2015. ISBN 978-80-7013-577-8.
- [5] VÝBORNÝ, Petr. *Glaukom - vybrané kapitoly*. Hradec Králové: Nucleus HK, 2008. Oftalmologie. ISBN 978-80-87009-35-2.
- [6] ČSN EN ISO 8612:2009. *Oftalmologické přístroje – tonometry* [online]. © 2005-2019 TECHNOR print, s.r.o [cit. 2019-08-19]. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/195023-csn-en-iso-8612_4_84650.html.
- [7] MIEKE, Stephan a Thomas SCHADE. *Leitfaden zu messtechnischen Kontrollen von Medizinprodukten mit Messfunktion (LMKM)*. Physikalisch-Technische Bundesanstalt: 2016. ISBN 978-3-95606-296-4.
- [8] HENRYCH, Tomáš. *Opatření obecné povahy sp.zn.:0111-OOP-C038-16, kterým se stanovují metrologické a technické požadavky na stanovená měřidla, včetně metod zkoušení pro ověřování stanovených měřidel: „mechanické a elektronické kontaktní oční tonometry“* [online]. © 2016 Český metrologický institut [cit. 2019-08-19]. Dostupné z: https://www.cmi.cz/sites/all/files/public/download/Uredni_deska/OOP/0111-OOP-C038-16.pdf.
- [9] International Organization of Legal Metrology. *OIML R 145-1:2015. Ophthalmic instruments – Impression and applanation tonometers – Part 1 – Metrological and technical requirements* [online]. © 2015 BIML [cit. 2019-08-19]. Dostupné z: https://www.oiml.org/en/files/pdf_r/r145-p-e15.pdf.
- [10] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [11] TONNU, A. P., HO, T., NEWSON, T., et al.: *The influence of central corneal thickness and age on intraocular pressure measured by pneumotometry, non-contact tonometry, the Tono-Pen XL, and Goldmann applanation tonometry* [online]. © 2005 Br J Ophthalmol [cit. 2019-08-20]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1772720/>.



KALIBRACE MĚŘIDEL TLAKU – DOKUMENT EA-CG 17, EVROPSKÉ NORMY A PRAXE

Ing. Josef Vojtíšek

Český metrologický institut

1. Úvod

Snaha o harmonizovaný přístup akreditačních orgánů při posuzování laboratoří je patrná ve všech oborech již řadu let. Zjednodušeně bychom mohli říci, že harmonizace předpokládá soulad vnějších a vnitřních faktorů. Mezi vnitřní faktory můžeme zařadit ochotu všech posuzovatelů k vytvoření a uplatňování jednotného přístupu při posuzování. Vnější faktory tvoří např. soubor dokumentů, podle kterých je posuzování prováděno. Na dvou příkladech z oboru kalibrace měřidel tlaku bych rád demonstroval, že harmonizovaný přístup neznamená, ba ani nemůže znamenat, naprosto identický přístup v různých laboratořích, které kalibrují obdobná měřidla téže veličiny. Prvním příkladem je přístup k referenčním podmínkám při kalibraci, především k teplotě okolí, která je dominantní ovlivňující veličinou. Druhým příkladem je popis vlastní metodiky kalibrace a její skutečná realizace. Novelizovaný dokument [L 1] zahrnul do své metodiky všechny základní typy průmyslových měřidel tlaku a při posuzování se setkávám s tím, že se laboratoř při tvorbě kalibračního postupu na tento zdroj odvolává. Text postupu i praktické předvedení kalibrace ale odpovídá jiným zdrojům. Odlišnost

přístupů nemusí být na závadu, ale je třeba ji respektovat. K tomu by měl pomoci i tento příspěvek.

2. Vliv teploty

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. U teplotní kompenzace je třeba vědět, zda se jedná o kompenzaci úplnou (vliv teploty zanedbatelný) nebo zda jde pouze o snížený teplotní koeficient. Pro každé měření je obvyklé definovat tzv. jmenovitou referenční (vztažnou) teplotu, ke které jsou vyhodnocovány teplotní odchylky okolí (měřidla) při měření. Definice jmenovité teploty v platných předpisech, používaných pro kalibrace měřidel tlaku, je ale nejednotná. [L1] uvádí, že teplota při kalibraci musí ležet v rozmezí (18 až 28) °C a její změna během kalibrace nesmí překročit 1 °C. Střed uvedeného rozmezí představuje hodnotu 23 °C, která je standardně používána jako referenční teplota všech elektronických digitálních měřidel. [L2 a L3] stejně jako [L4 a L5] uvádějí jako referenční teplotu 20 °C a doporučují její rozmezí (15 až 25) °C. Pro délková měřidla,

měřidla hmotnosti a tlaku doporučuje [L25] referenční podmínky z hlediska teploty (20 ± 2) °C.

Obdobně je definována referenční teplota pro deformační tlakoměry v [L6 a L7] – jmenovitá hodnota 20 °C, referenční rozmezí (20 ± 2) °C pro třídu přesnosti (dále TP) 0,1 až 0,6; referenční rozmezí (20 ± 5) °C pro TP > 0,6. Povolený rozsah teploty okolí i teploty měřeného média pro deformační tlakoměry je (-20 až 60) °C. [L23 a L24] stanovují pracovní rozmezí teplot pro deformační tlakoměry (10 až 35) °C, referenční teplotu 20 °C s tím, že je možné zvolit jinou teplotu. Vliv nově zvolené teploty nesmí překročit 1/5 maximální dovolené chyby tlakoměru. U deformačních tlakoměrů výrobci až na výjimku neuvádějí teplotní koeficient k_t . Vycházíme tedy z údajů v [L6 a L7], kde FS (full scale) je měřicí rozpětí tlakoměru:

– Deformační tlakoměry s pružnou trubicí

$$k_t = 0,04 \% \text{ FS} / \text{K}$$

– Deformační tlakoměry krabicové

$$k_t = 0,06 \% \text{ FS} / \text{K}$$

– Deformační tlakoměry membránové

$$k_t = 0,08 \% \text{ FS} / \text{K}$$

Maximální chyba, způsobená odchylkou skutečné teploty od referenční, je pak definována jako:

$$\Delta t = k_t \cdot (t_2 - t_1) \quad (1)$$

kde t_2 je teplota okolí a t_1 je referenční teplota. Z uvedeného je zřejmé, že jakákoliv odchylka od referenční hodnoty teploty deformačních tlakoměrů způsobuje přídatnou chybu, kterou musíme respektovat mezi složkami nejistoty typu B.

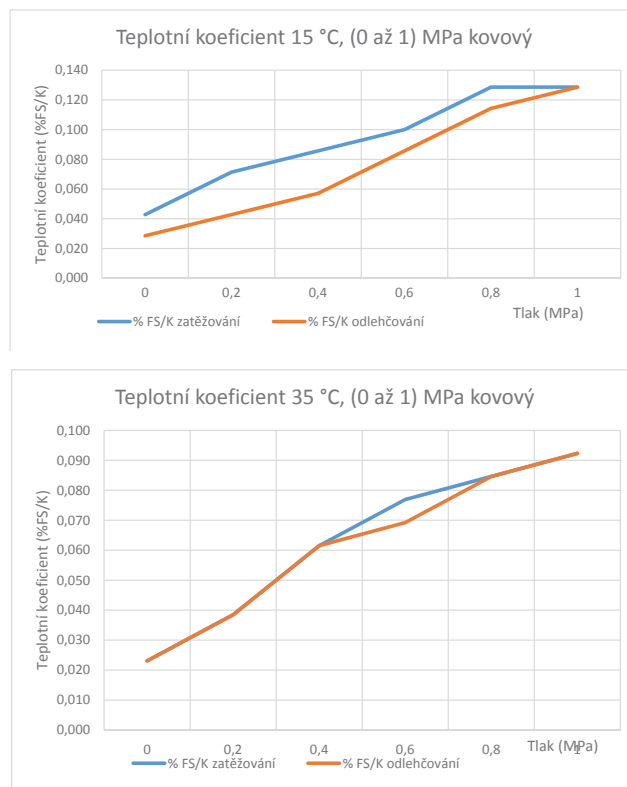
Zajímalo mne, do jaké míry vystihují normované teplotní koeficienty skutečné chování deformačních tlakoměrů. Pro zkoušku jsem si zvolil dva tlakoměry:

Typ 1 – výrobce MANOTHERM, typ TGL, průměr 160 mm, rozsah (0,0 až 1,0) MPa, velikost dílku 0,005 MPa, TP 0,6; výrobní číslo KY 861, **kovové** pouzdro tlakoměru;

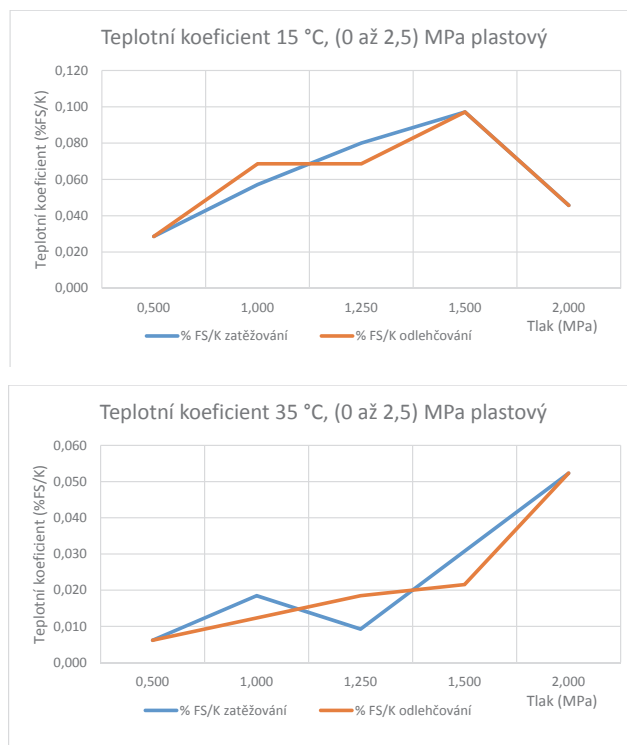
Typ 2 - výrobce EMERS, typ 313, průměr 160 mm, rozsah (0,0 až 2,5) MPa, velikost dílku 0,05 MPa, TP 1; výrobní číslo OF 181970, **plastové** pouzdro tlakoměru.

Oba tlakoměry jsem kalibroval při třech teplotách po 24-hodinové temperaci tlakoměrů v klimatické komoře – 15 °C, 22 °C (teplota okolí) a 35 °C. Teplota tlakoměru byla kontrolována během měření bezdotykovým IR teploměrem a její rozptyl nepřekročil rozmezí $\pm 0,5$ °C. Všechny kalibrace byly provedeny na stejném etalonovém zařízení (kalibrátor BEAMEX s vestavěným tlakovým modulem o rozsahu 20 bar) při uvedené teplotě okolí. Z rozdílů měřených hodnot při teplotách (15 a 22) °C resp. (22 a 35) °C byly stanoveny teplotní koeficienty v každém kalibrovaném bodě a vyneseny do grafu. Kalibrační body pro rozsah do 1 MPa byly (0,0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 a 1,0) MPa; kalibrační body pro rozsah do 2,5 MPa pak (0,50; 1,00; 1,25; 1,50 a 2,00) MPa. Do grafu je kalibrace vynesena v obou směrech zátěže (**obr. 1 a 2**). Střední teplotní koeficient kovového tlakoměru vychází na 0,073 % FS / K, u plastového tlakoměru je střední hodnota o velikosti 0,042 % FS / K. Z průběhů teplotních koeficientů je zřejmá závislost na zatěžovacím tlaku – s rostoucí hodnotou tlaku roste i teplotní koeficient. Střední hodnoty se pak blíží hodnotám

normovaným především u tlakoměru s plastovým pouzdem. Ze dvou příkladů nelze vytvářet statistický závěr, ale je to celkem jednoznačné svědectví o chování deformačních tlakoměrů a jejich teplotních koeficientů vlivem změn teploty okolí.



Obr. 1: Závislost teplotního koeficientu deformačního tlakoměru s kovovým pouzdem



Obr. 2: Závislost teplotního koeficientu deformačního tlakoměru s plastovým pouzdem

Součástí aktuální verze předpisu [L1] jsou i deformační tlakoměry, díky tomu je v tomto předpisu nejasná jednoznačná definice referenční hodnoty teploty. Zrušené normy [L11 až L14] umožňovaly volbu mezi hodnotami 20 °C nebo 23 °C. Pokud chceme sjednotit přístup k měřidlům tlaku, doporučoval bych uvažovat za referenční hodnotu teploty u deformačních tlakoměrů 23 °C podobně jako u většiny ostatních měřidel tlaku. Vzhledem k výrazné teplotní závislosti deformačních tlakoměrů je stanovení této hodnoty důležité i z pohledu srovnatelných výsledků zkoušení způsobilosti těchto typů měřidel.

U digitálních tlakoměrů a převodníků tlaku je situace ohledně referenční teploty příznivější. Přestože [L2 až L5 i L10] pracují s hodnotou 20 °C, výrobci těchto měřidel uvádějí vesměs referenční hodnotu teploty 23 °C. Tato referenční teplota platí pro všechna digitální měřidla elektrických veličin, se kterými pracujeme i na výstupu převodníků tlaku. Pokud ale výrobce neuvede teplotní koeficient měřidla, nemáme žádné vodítko ohledně odhadu vlivu teploty okolí. Pomocným nástrojem by mohla být tabulka 1 z [L9], která uvádí maximální dovolenou chybu na každých 10 °C v závislosti na třídě přesnosti tlakoměru (převodníku).

Tabulka 1: Teplotní závislost měřících převodníků tlaku podle [L9]

A	0,10	0,15	0,16	0,20	0,25	0,40	0,50	0,60	1,00	1,50	1,60	2,00	2,50
B	0,10	0,15	0,16	0,20	0,25	0,35	0,45	0,50	0,60	0,75	0,80	0,90	1,00

A - mez dovolené základní chyby převodníku v % FS,

B - maximální povolená doplňková chyba v % FS vyvolaná změnou teploty okolního vzduchu o každých 10 °C.

Hodnoty teplotního koeficientu se pohybují v rozmezí od 0,01 % FS / K pro TP 0,1 až do 0,1 % FS / K pro TP 2,5. [L9] je sice zrušena, ale údaje z uvedené tabulky nebyly do žádného z platných předpisů převzaty. Teplotně kompenzovaný rozsah měření a teplotní koeficient je nutné znát jak u kalibrovaných měřidel, tak u používaných etalonů.

Dodržet referenční rozmezí teplot je obtížné především při kalibracích měřících řetězců tlaku mimo stálé laboratorní prostory. Při těchto kalibracích je prakticky bez výjimky vliv teploty neznámý. Použití hodnoty koeficientu v rozmezí (0,01 až 0,06) % FS / K odpovídá očekávané přesnosti většiny elektronických měřidel tlaku, osobně používám při vyhodnocení měřících řetězců hodnotu (0,01 až 0,03) % FS / K dle typu použitého převodníku tlaku.

3. Metodika kalibrace, kalibrační postup

Při kalibraci měřidel tlaku závisí počet měřených bodů a počet realizovaných cyklů měření na přesnosti tlakoměru. Opakovatelnost se obvykle zjišťuje ze tří cyklů měření ve směru vzrůstajícího i klesajícího tlaku. Chyba reverzibility (hystereze) je definována jako absolutní hodnota rozdílu mezi střední hodnotou údaje ve směru snižování a zvyšování tlaku. Jestliže se vyhodnocuje měření obou větví (vzrůstající a klesající hodnoty) samostatně, je maximální hodnota hystereze uvedena na kalibračním listu. Pokud uvedeme na

kalibrační list průměrnou hodnotu tlaku z obou směrů zatěžování, musíme uvažovat hysterezi jako jednu ze složek nejistoty typu B.

Detailní postup měření uvádí [L1] takto:

- Základní kalibrační postup: určen pro měřidla, jejichž cílová nejistota měření pro $k = 2$ má hodnotu $U \geq 0,2$ % FS. Úplná kalibrace je provedena v jednom měřicím cyklu v šesti bodech ve směru stoupajícího i klesajícího tlaku. Opakovatelnost se zjišťuje ve třech cyklech pouze u dvou bodů, přednostně 0 % FS a hodnota blízko střední hodnoty měřícího rozpětí. Zjištění opakovatelnosti je provedeno pouze ve smyslu stoupajícího tlaku. Větší z obou hodnot opakovatelnosti je použita pro všechny měřené body. Nejistota kalibrace by neměla být uvedena menší než 0,2 % FS.
- Standardní kalibrační postup: určen pro měřidla, jejichž cílová nejistota měření pro $k = 2$ leží v rozmezí $0,05$ % FS $\leq U < 0,2$ % FS. Úplná kalibrace je provedena v jednom měřicím cyklu v jedenácti bodech ve směru stoupajícího i klesajícího tlaku. Opakovatelnost se zjišťuje ve třech cyklech pouze u čtyř bodů, přednostně (0, 20, 50, 80) % FS. Zjištění opakovatelnosti je provedeno pouze ve smyslu stoupajícího tlaku. V mezilehlých bodech je uvažována vždy vyšší hodnota opakovatelnosti z obou krajních bodů intervalu. Nejistota kalibrace by neměla být uvedena menší než 0,05 % FS.
- Úplný kalibrační postup: určen pro měřidla, jejichž cílová nejistota měření pro $k = 2$ má hodnotu $U < 0,05$ % FS. Úplná kalibrace je provedena ve třech měřicích cyklech v jedenácti bodech ve směru stoupajícího i klesajícího tlaku. Opakovatelnost se tedy zjišťuje v každém měřeném bodě, způsob zjištění (jeden smysl zátěže nebo oba smysly) předpis neuvádí. Nejistota kalibrace není předpisem limitně omezena.

Počtem kalibračních bodů se zabývají i další platné předpisy. [L2 až L5] uvádějí požadavek tří až pěti úplných kalibračních cyklů v 6 nebo 11 bodech s tím, že opakovatelnost se stanovuje samostatně pro stoupající a klesající hodnoty. Tím je vytvořen předpoklad pro určení hystereze měřidla jako samostatného parametru. Normy platné pro deformační tlakoměry [L6 a L7] odvozují počet bodů od TP tlakoměru takto:

- TP v rozmezí 0,1 až 0,6 – minimálně 10 kalibračních bodů
- TP v rozmezí 1 až 2,5 – minimálně 5 kalibračních bodů
- TP v rozmezí 4 až 6 – minimálně 4 kalibrační body

Opět se předpokládá zkoušení v obou smyslech zátěže, počet sérií ale normy neřeší, stejně jako určení opakovatelnosti. Uvedena je pouze národní poznámka, která doporučuje pro zkoušku přesnosti a hystereze provést více sérií měření.

[L23 a L24] definuje metodiku měření takto:

- TP v rozmezí 0,06 až 0,6 – minimálně 8 kalibračních bodů
- TP v rozmezí 1 až 2,5 – minimálně 5 kalibračních bodů
- TP v rozmezí 4 a 5 – minimálně 3 kalibrační body

Do hodnoty TP = 0,2 jsou doporučeny tři série měření, TP (0,2 až 0,6) dvě série měření; opakovatelnost předpisy neřeší.

Zásadní rozdíl mezi předpisem [L1] a ostatními normativy je tedy následující:

- Podle [L1] musím nejprve odhadnout výslednou nejistotu měření (posoudit rozlišitelnost nebo odečitelnost měřidla, vliv použitého etalonu, zabývat se deklarovanou přesností měřidla dle výrobce apod.). Na základě odhadu nejistoty volím následně metodiku kalibrace resp. počet bodů a způsob stanovení opakovatelnosti.
- Podle ostatních dokumentů se při volbě metodiky zabývám pouze deklarovanou přesností měřidla tlaku.

Dokument [L1] řeší také otázku návaznosti s tím, že nejistota etalonu (etalonového měřicího řetězce) by měla být minimálně dvakrát lepší než nejistota kalibrovaného měřidla. Pro běžná měřidla tlaku předpokládáme dosavadní přístup k návaznosti, tj. poměr nejistoty měřidla vůči nejistotě etalonu minimálně rovný 4. Odpovídá to všem zbývajícím platným předpisům a v podstatě i dokumentu [L1], který tuto možnost připouští. Při kalibraci vysokotlakých měřidel tlaku kyslíku se z bezpečnostních důvodů používají tzv. oddělovací členy (odděluje bezpečné médium od oleje). Dokument [L24] se jako jediný zabývá dovolenou chybou tohoto zařízení, která nesmí být větší než 10 % maximální dovolené chyby kalibrovaného měřidla.

Další odlišností dokumentu [L1] je přístup ke stanovení opakovatelnosti. Standardní nejistota u_{Aj} stanovená metodou typu A v j -tém tlakovém bodě se určí v souladu s [L17] podle vztahu:

$$u_{Aj} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_{ij} - \bar{p}_j)^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (2)$$

kde p_{ij} je i -tý údaj zkoušeného tlakoměru v j -tém tlakovém bodě; \bar{p}_j aritmetický průměr ze tří údajů kalibrovaného tlakoměru v j -tém tlakovém bodě a n počet měření. Podle [L17] má normální rozdělení pravděpodobnosti a statisticky nedostatečný počet měření je ošetřen kontrolou stupňů volnosti výsledné nejistoty měření.

Podle dokumentu [L1] je statisticky nedostatečný počet měření respektován tak, že opakovatelnost (podobně i chyba nuly) je určena empirickým vztahem, který stanoví maximální rozdíl odchylek měření v daném bodě a na polovinu tohoto rozdílu je následně uplatněno rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti. Pro následující simulovaná data jsem se pokusil porovnat rozdíl obou výpočtů (hodnoty před závorkou = zatěžování, hodnoty v závorce = odlehčování):

Nulový bod (bar): 0,0 (-0,2); -0,2 (0,1); 0,1 (-0,1)
 Tlak 600 bar: 600,9 (601,1); 601,0 (601,3); 600,9 (601,3)
 Opakovatelnost v nulovém bodě dle [L17]: 0,089 (0,089) bar
 Opakovatelnost v nulovém bodě dle [L1]: 0,087 bar
 Opakovatelnost v korigovaném bodě 600 bar dle [L17]: 0,120 (0,058) bar
 Opakovatelnost v korigovaném bodě 600 bar dle [L1]: 0,087 (0,058) bar

Z výsledků je patrná poměrně slušná shoda hodnot opakovatelnosti obou způsobů vyhodnocení.

3.1 Vyhodnocení měřidel tlaku

V souvislosti s vyhodnocením měřidel tlaku (především snímačů a převodníků) se zastavme u problematické

a diskutované otázky nulování tlakoměru mezi jednotlivými sériemi. Jednoznačný přístup k otázce nulování platí u měřidel absolutního tlaku a u sdružených měřidel podtlaku a přetlaku. V těchto případech je nulování nevhodné, ne-li zcela nemožné. U jednostranně diferenčních nebo přetlakových měřidel je nulování technicky možné – u digitálních tlakoměru i u převodníků tlaku může jít o jednoduchý způsob (nulovací tlačítko ZERO), nastavení v SW aplikaci nebo mechanické nastavení potenciometrem. Mechanické nastavení je určeno především k nastavení měřidla před zahájením kalibrace, pokud je zjištěna odchylka blízká dovolené chybě nebo odchylka, která překračuje dovolenou chybu měřidla. Během vlastní kalibrace není vhodné měnit mechanické nastavení ani mezi jednotlivými cykly.

V článku Ing. Valenty „Sjednocování výpočtu CMC v AKL v oboru tlak“, který byl uveřejněn v Metrologii 3/2019, jsou popsány tři typy linearit, používané při vyhodnocení měřidel tlaku (terminální linearita, linearita nulového bodu a lineární regrese).

Kalibrace s vyhodnocením terminální linearit se provádí následujícím způsobem. Měřidlo zatížíme nulovým tlakem a provedeme jeho nulování. U převodníku tlaku s komunikačním protokolem aktivujeme funkci, která přiřadí nulovému tlaku přesnou hodnotu výstupního proudu 4 mA. Ve druhém kroku zatížíme měřidlo maximálním tlakem a provedeme nastavení rozsahu. U digitálních tlakoměru to může být tlačítko SPAN, u převodníku tlaku s komunikačním protokolem aktivujeme funkci, která přiřadí maximálnímu tlaku přesnou hodnotu výstupního proudu 20 mA. Proudové výstupy snímačů tlaku kontrolujeme pomocí digitálního multimetru, některá měřidla umožňují i dílčí nastavení malých odchylek od jmenovité hodnoty. Tento postup opakujeme do doby, než se výstupní údaje maximální blíží jmenovitým a jsou konstantní. Poté následuje vlastní kalibrace, mezi jednotlivými cykly se už nula (ani rozsah) nedostavují.

Při vyhodnocení zero-based linearit nás zajímá pouze nulový bod, ze kterého vždy vychází kalibrační přímka. Stabilita nuly je tedy kontrolována už během tzv. rozcvičení tlakoměru, nula je nastavena před měřením a je vhodné ji dostavit i mezi jednotlivými kalibračními cykly.

Třetím způsobem vyhodnocení je klasická lineární regrese metodou nejmenších čtverců (best-straight-line). V tomto případě kopíruje přímka skutečný průběh závislosti bez ohledu na nulovou odchylku nebo odchylku rozsahu. Nastavení nuly (rozsahu) před kalibrací je vhodné, ale pokud máme kalibrací postihnout skutečné chování měřidla tlaku při praktickém měření, nulování neprovádíme. [L1] nulování mezi cykly připouští, ale neuvádí ho jako nutnou podmínku kalibračního postupu. V praxi je nulování povinné např. při přemístění měřidla, při změně polohy, po indikovaném přetížení apod. Existují také měřidla, u kterých je nezbytné automatické nulování během měření. Příkladem mohou být měřidla velmi malých tlaků (např. AIRFLOW PTSXR), u kterých jakákoliv změna v impulsním potrubí nebo změna v okolí mohou ovlivňovat měřenou hodnotu (otevření dveří

při měření tlaků v řádu desítek až stovek Pa). Automatické nulování lze nastavit v proměnném časovém intervalu.

4. Závěr

Na jednoduchých příkladech jsem se snažil demonstrovat, že i harmonizovaný přístup k činnosti laboratoře znamená výběr z několika variant. Laboratoř si musí umět profesionálně přetvořit zvolený způsob ve standardní a rutinní proces, který také musí umět obhájit. Dosáhnout absolutní jednoty zdrojových dokumentů je nedostížitelný sen, který navíc není vždy nutný. Dlouholeté zkušenosti v oboru jsou nespornou výhodou, jejíž předností je schopnost vzájemného posouzení dostupných variant řešení. Cílem harmonizace by tedy měla být mj. výchova a vyhledávání odborných posuzovatelů s uvedenými schopnostmi.

Literatura

- L1: Euramet Calibration Guide No. 17: Guidelines on the Calibration of Electromechanical and Mechanical Manometers; Version 4.0 (EURAMET 04/2019)
- L2: 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)
- L3: 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)
- L4: ČSN EN 60770-1 ed. 2: Měřicí převodníky pro řídicí systémy průmyslových procesů. Část 1: Metody hodnocení vlastností (09/2011)
- L5: ČSN EN 60770-3 ed. 2: Měřicí převodníky pro řídicí systémy průmyslových procesů. Část 3: Metody hodnocení vlastností inteligentních převodníků (03/2015)
- L6: ČSN EN 837-1: Měřidla tlaku. Část 1: Tlakoměry s pružnou trubicí – rozměry, metrologie, požadavky a zkoušení (03/1998)
- L7: ČSN EN 837-3: Měřidla tlaku. Část 3: Membránové a krabicové tlakoměry – rozměry, metrologie, požadavky a zkoušení (03/1998)
- L8: ČSN 18 1002: Měřicí převodníky – všeobecné technické požadavky (03/1982 – již neplatná)
- L9: ČSN 18 1005: Měřicí převodníky (snímače) tlaku s elektrickými unifikovanými analogovými výstupními signály – všeobecné technické požadavky a metody zkoušek (01/1985 – již neplatná)
- L10: TPM 4655-01: Měřicí převodníky tlaku – metody zkoušení při ověřování (ČMI 02/2002)
- L11: ČSN 25 7201: Provozní deformační tlakoměry – všeobecná ustanovení (10/1985 – již neplatná)
- L12: ČSN 25 7207: Manometry, manovakuometry a vakuometry indikační – metody zkoušení při úředním ověřování (12/1980 – již neplatná)
- L13: ČSN 25 7214: Etalonové deformační manometry a vakuometry – technické požadavky (05/1984 – již neplatná)
- L14: ČSN 25 7215: Manometry, vakuometry deformační; sekundární etalony – metody zkoušení pro úřední ověřování (06/1986 – již neplatná)
- L15: Doporučení RM AERO 802 41: Kalibrace a použití elektromechanických manometrů (směrnice leteckého průmyslu 08/1993)
- L16: TPM 4654-01: Měřicí převodníky tlaku – metrologické a technické požadavky (ČMI 02/2002)
- L17: Dokument EA-04/02 M:2013: Vyjádření nejistoty měření při kalibraci (překlad ČIA 04/2014)
- L18: Guideline DKD-R 6-1: Calibration of Pressure Gauges; edition 03/2014
- L19: Douglas A. Olson: NIST Calibration Services for Pressure using Piston Gauge Standards (NIST Special Publication 250-39 2009; 07/2009)
- L20: Douglas A. Olson, R. Greg Driver: SIM Metrology School – PRESSURE (NIST 10/2013)
- L21: M. P. Fitzgerald, D. J. Jack: MSL Technical Guide 13 – Pressure Gauge Calibration (MSL Measurements Standards Laboratory of New Zealand 07/2006)
- L22: Guide to the Measurement of Pressure and Vacuum (NPL; Institute of Measurement and Control, ISBN 0 904457 29 X; 1998)
- L23: OIML R 101: Indicating nad recording Pressure Gauges, Vacuum Gauges and Pressure-vacuum Gauges with elastic sensing Elements (Ordinary Instruments – edition 1991)
- L24: OIML R 109: Pressure Gauges and Vacuum Gauges with elastic sensing Elements (Standard instruments – edition 1993)
- L25: OIML R 110: Pressure Balances (edition 1994)



**POZVÁNKA NA 29. MEZINÁRODNÍ KONFERENCI
MĚŘICÍ TECHNIKA PRO KONTROLU JAKOSTI
s výstavou měřicí, kontrolní a zkušební techniky**

3. a 4. března 2020,

kongresové centrum PRIMAVERA, Nepomucká 1058/128, Plzeň



NABÍDKA AKCÍ ČMS NA I. ČTVRTLETÍ ROKU 2020



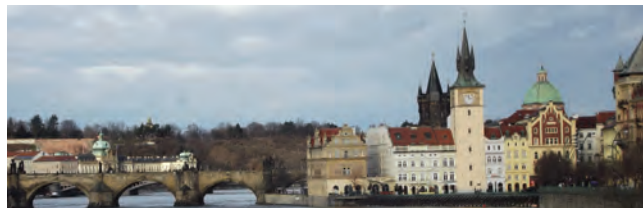
Česká metrologická společnost, z. s.

Novotného lávka 5, 110 00 Praha 1

tel./fax: 221 082 254

e-mail: cms-zk@csvts.cz

www.csvts.cz/cms



Místo a datum konání	Kód akce	Název akce
3. 3. – 4. 3. 2020 Hotel PRIMAVERA, Plzeň	Ko 562-20	29. mezinárodní konference MĚŘICÍ TECHNIKA PRO KONTROLU JAKOSTI

Místo a datum konání	Kód akce	Název akce
11. 3. 2020 ČSVTS Praha, učebna č. 318	K 563-20	Řízení metrologie v organizaci
20. 4. – 23. 4. 2020 ČSVTS Praha, učebna č. 501	K 564-20	52. 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.

Přizvání: PhDr. Bořivoj Kleník – šéfredaktor.

Časopis vychází 4 x ročně. Cena výtisku 80,- Kč, roční předplatné 320,- Kč + poštovné a balné + 10 % DPH. Vydavatel: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) ve spolupráci s Českým metrologickým institutem, Českou metrologickou společností a Českým kalibračním sdružením. Sídlo vydavatele: ÚNMZ, 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: listopad 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:

Kontrola celkové hmotnosti Shiøtzova tonometru

Photo on the front page:

Experimental evaluation of the Shiøtz tonometer of total mass

