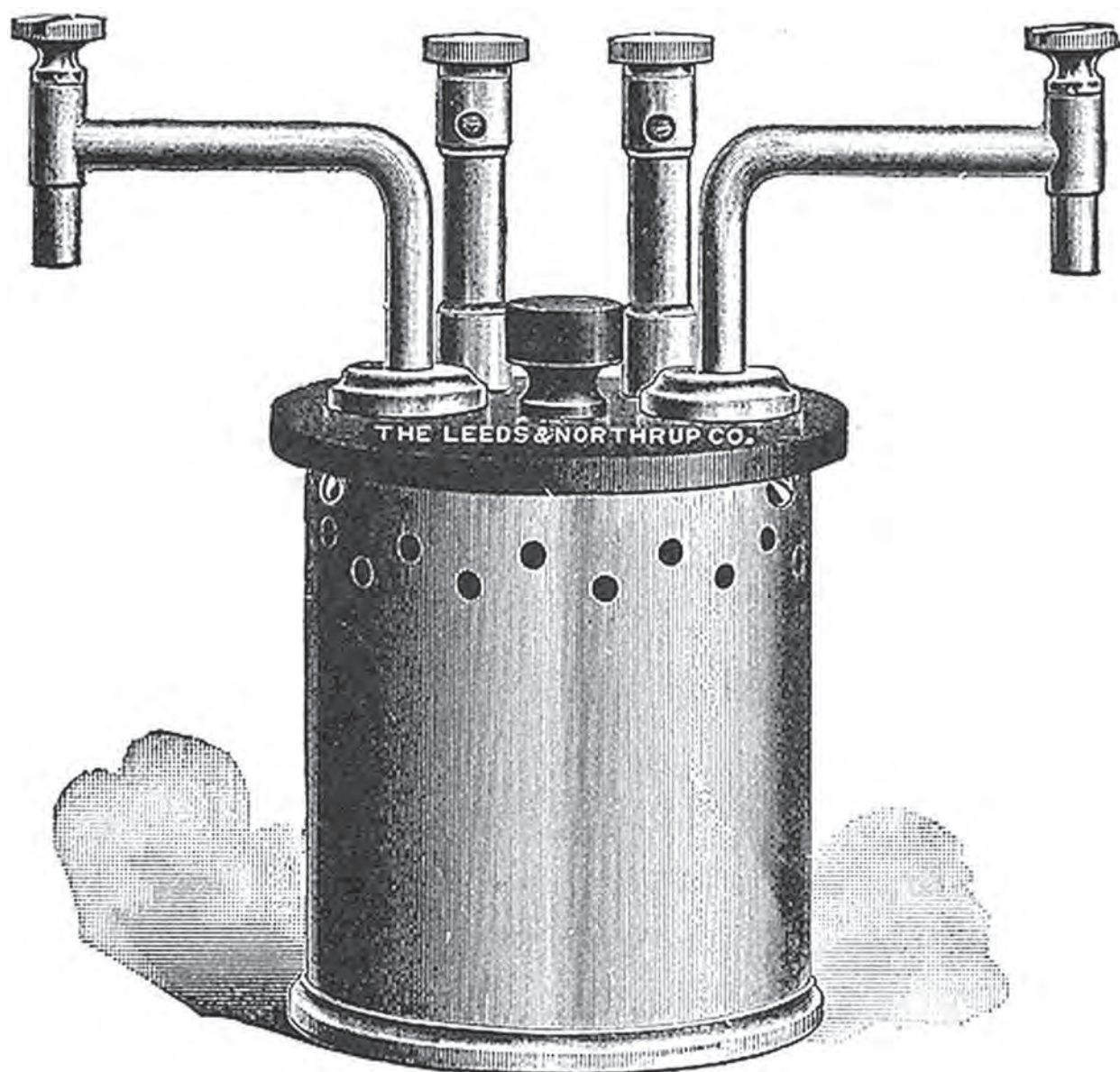


1/2019
ROČNÍK 28

METROLOGIE

VĚDECKÁ
LEGÁLNÍ
PRAKTICKÁ



VĚDA A VÝZKUM

Ing. Leoš Vyskočil
Rozdiel medzi konvenčnou a termodynamickou
stupnicou pH2

**Ing. Jan Kučera Ph.D., Ing. Petr Chrobok,
Ing. Lucie Vojáčková**
25 let primární metrologie elektrického odporu
v České republice4

LEGÁLNÍ METROLOGIE

Ing. František Hnízdil
Metrologická stopa templářů13

Ing. Zdeňka Pohořelá, Ing. Štěpán Mašek
Historie státní metrologie v českých zemích – VII.15

INFORMACE

RNDr. Pavel Klenovský
Nové definice základních jednotek soustavy SI18

Ing. Eliška Machová
Vyhodnocení Programu rozvoje
metrologie 201821

Ing. Jindřich Běťák
Fyzikální jevy26

doc. Ing. Jiří Horský, CSc.
Informace o práci Českého kalibračního
sdružení (ČKS)33

PR

ABF36

Nabídka akcí ČMS na I. pololetí roku 2019

SCIENCE AND RESEARCH

Ing. Leoš Vyskočil
The Difference Between the Conventional
and Thermodynamic pH Scales2

**Ing. Jan Kučera Ph.D., Ing. Petr Chrobok,
Ing. Lucie Vojáčková**
25 Years of Primary Metrology of Electrical
Impedance in the Czech Republic4

LEGAL METROLOGY

Ing. František Hnízdil
The Templars' Trace in Metrology13

Ing. Zdeňka Pohořelá, Ing. Štěpán Mašek
History of State Metrology in the Czech Lands - VII ...15

INFORMATION

RNDr. Pavel Klenovský
The New Definition of SI Base Units18

Ing. Eliška Machová
The Evaluation of the Metrology Development
Program 201821

Ing. Jindřich Běťák
Physical Phenomena26

doc. Ing. Jiří Horský, CSc.
Information about the Activities of the Czech
Calibration Association (ČKS)33

PR

ABF36

The List of ČMS Events in the 1st Half of 2019

ROZDIEL MEDZI KONVENČNOU A TERMODYNAMICKOU STUPNICOU pH

Ing. Leoš Vyskočil

Slovenský metrologický ústav

1. Úvod

Úlohou národných metrologických inštitútov (NMI) je uchovávanie a prenos jednotky veličiny na nižšie stupne podľa metrologickej hierarchie. Jednotnosť merania vo svete je zabezpečovaná pomocou medzinárodných porovnávacích meraní medzi jednotlivými NMI. Primárna realizácia jednotky však nie je vždy jednoduchá. Toto je práve situácia veličiny pH. Meranie naráža na základný problém a to nemožnosť priamo zmerať aktivný koeficient izolovaného iónu, pričom pri vyhodnotení merania je potrebný. Aby bolo možné uskutočniť primárne meranie pH, bola zavedená tzv. Bates-Guggenheimova konvencia [3], [1], podľa ktorej sa aktivný koeficient chloridových iónov vypočíta za určitých podmienok z Debye-Hückelovej [2] rovnice. Tento spôsob merania je používaný v celom svete, takže požiadavka jednotnosti merania je splnená, avšak vypočítané hodnoty aktivného koeficienta sa nezhodujú s termodynamickými. Tým vzniká konvenčná škála pH, ktorá sa od termodynamickej samozrejme odlišuje. V tejto práci sa pokúsime zistiť, aký veľký je rozdiel medzi konvenčnou a termodynamickou stupnicou pH .

2. Primárne meranie pH

Primárne meranie pH sa robí v Harnedovom článku, ktorý sa skladá z vodíkovej a chloridostriebovej elektródy. Potenciál vodíkovej elektródy je závislý od aktivity vodíkových iónov. Je hlavným nositeľom informácie o pH . Potenciál chloridostriebovej elektródy ako elektródy druhého druhu závisí od aktivity chloridového aniónu. Do meraného roztoku sa pridáva definované množstvo chloridových iónov. Vyhodnotenie sa robí podľa rovnice (1). Ľavá strana rovnice (1) obsahuje experimentálne dostupné veličiny. Ak sa vynesie oproti molalite chloridových iónov, hľadaná hodnota pH predstavuje úsek na osi poradníc. Detailnejšie informácie možno nájsť v literatúre [12].

$$\frac{(U^* - E_{Ag/AgCl}^0)F}{RT \ln(10)} + \log(b_{Cr^-}) + \log(\gamma_{Cr^-}) = pH + \xi \cdot b_{Cr^-} \quad (1)$$

Kde:

U^* - napätie článku korigované na štandardný tlak 101325 Pa

$E_{Ag/AgCl}^0$ - štandardný potenciál chloridostriebovej elektródy (V)

F - Faradayova konštanta 96 485,332 89(59) (C·mol⁻¹)

R - plynová konštanta 8,314 4598(48) (J·mol⁻¹·K⁻¹)

b_{Cr^-} - molalita chloridových iónov

T - teplota v Kelvinoch,

ξ - smernica

V prípade, že sa použije reálna hodnota aktivného koeficienta v treťom člene ľavej strany rovnice (1), je hodnota pH termodynamicky správna. Berúc do úvahy teorém o nemožnosti priameho merania aktivného koeficienta izolovaného iónu, bola postulovaná tzv. Bates-Guggenheimova konvencia, podľa ktorej sa hodnota aktivného koeficienta chloridových iónov vypočíta podľa Debye-Hückelovej rovnice (2), kde parameter k má dohodnutú hodnotu $k = 1,5$ pre všetky teploty a pre všetky koncentrácie do hodnoty iónovej sily $I = 0,1 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$. A je Debye-Hückelova konštanta. Závisí od teploty a jej hodnotu možno nájsť v literatúre [7].

$$\log(\gamma_{Cr^-}) = -\frac{A \cdot \sqrt{I}}{1 + k\sqrt{I}} \quad (2)$$

2.1 Určenie aktivného koeficienta pre chloridové ióny

Aj keď je podľa termodynamického teorému nemožné priamo merať aktivitu izolovaného iónu, je možné získať ju inou cestou. V poslednej dobe sa objavujú pokusy predsa len nejakým spôsobom určiť individuálne iónové aktivity [8], [9], [10]. Jeden z takých pokusov je popísaný v článku Debasmitta a kol. [4], ktorí využili pri meraní vlastnosti ión selektívnych elektród a stanovili koncentračné závislosti individuálnych aktivných koeficientov. V tejto práci sú použité práve ich výsledky.

Autori uvádzajú svoje výsledky v tabuľkovej forme. Pre získanie výsledku pre ľubovoľnú iónovú silu bol potrebný interpolačný vzťah. Pre tento účel bola úspešne použitá zjednodušená forma Daviesovej rovnice, ktorá celkom uspokojivo vyrovnáva experimentálne body vyššie zmiených autorov. Rovnica má tvar:

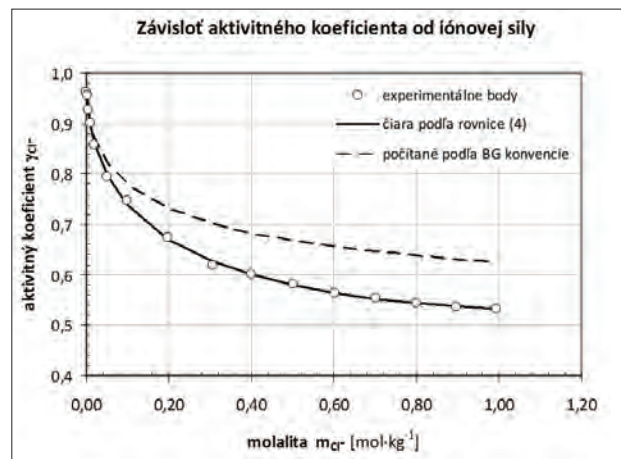
$$\log(\gamma_{Cr^-}) = -(a \cdot \sqrt{I} + b \cdot I) \quad (3)$$

Kde:

$a = 0,48153 \text{ mol}^{-0,5} \cdot \text{kg}^{0,5}$

$b = -0,20767 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$

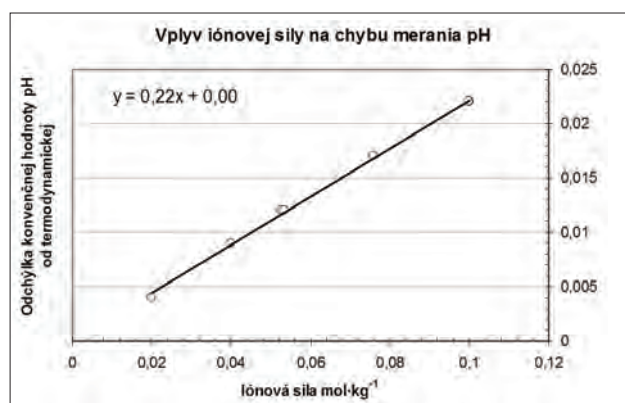
I je iónová sila $\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}$



Obr. 1: Porovnanie zhody medzi experimentálnymi údajmi [4] (krúžky) a vypočítanou hodnotou podľa vzťahu (3) (plná čiara). Prerušovaná čiara predstavuje hodnoty vypočítané podľa BG konvencie (2).

2.2 Porovnanie oboch stupníc pH

Z vyššie uvedeného je jasné, že rozdiel medzi konvenčnou a termodynamickou stupnicou nezávisí od hodnoty pH , čo potvrdili aj experimentálne výsledky. Pre testovanie bol k dispozícii experimentálny materiál primárnych meraní pH z rokov 2006 až 2013 robených v SMU. Hlavný podiel na rozdieli má hodnota iónovej sily. Tlmivé roztoky majú rôzne hodnoty iónovej sily. Na obr. 2 sú uvedené odchýlky pH v závislosti od iónovej sily bežne používaných tlmivých roztokov.



Obr. 2: Vplyv iónovej sily tlmivého roztoku na odchýlku konvenčnej hodnoty pH od termodynamickej hodnoty pH .

Na obrázku je dobre pozorovateľný vplyv iónovej sily na odchýlku konvenčne počítaných hodnôt pH od termodynamickej hodnoty. Najväčšie odchýlky majú fosfátový ($pH = 7$) a karbonátový ($pH = 10$) tlmivý roztok, ktoré majú iónovú silu približne na úrovni $I = 0,1 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$. Najmenšia chyba je u bóraxového tlmivého roztoku ($pH = 9$), ktorý má iónovú silu iba $0,02 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$. Ako sa dalo predpokladať, závislosť prechádza počiatkom, teda pri nekonečnom zriedení je odchýlka nulová. Pre lepší prehľad je uvedená tabuľka pre bežne používané tlmivé roztoky odporúčané IUPAC [11].

Tab. 1: Porovnanie konvenčných a termodynamických hodnôt pH tlmivých roztokov odporúčaných IUPAC [11].

Tlmivý roztok	Iónová sila [mol·kg ⁻¹]	Konvenčná hodnota pH	„Termodynamická“ hodnota pH	Chyba pH
Tetrašřavelanový	0,076	1,679	1,662	0,017
Vínanový	0,040	3,557	3,548	0,009
Citrátový	0,0526	3,776	3,764	0,012
Ftalátový	0,0535	4,008	3,996	0,012
Fosforečnanový	0,1000	6,865	6,843	0,022
Fosforečnanový	0,1000	7,413	7,391	0,022
Tetraboritanový	0,0200	9,180	9,176	0,004
Uhlíčanový	0,0999	10,012	9,990	0,022

Záver

V článku je porovnaný rozdiel pH medzi konvenčnou a termodynamickou stupnicou. Bolo zistené, že rozdiel narastá s iónovou silou tlmivého roztoku (asi 0,22 jednotky pH na jednotkovú zmenu iónovej sily).

Účelom tejto práce nebolo ani urobiť revolúciu v meraní pH ani zavádzať nové spôsoby jeho merania. Článok chce po-

ukázať na rozdiel nameraných hodnôt pH od termodynamickej hodnoty danej definíciou. Tieto odchýlky je možné pri praktických meraniach zanedbať, ale môžu byť dôležité v prípadoch, keď je potrebné poznať skutočnú termodynamickú hodnotu.

Výsledky treba brať s určitou rezervou, pretože presnosť výsledkov v pôvodnom článku bola na úrovni merania iónovo-selektívnymi elektródami. Viac menej na ilustráciu a kvantifikáciu rozdielov, ktorými sa práca zaoberá, to je postačujúce.

Rozdiel medzi oboma škálami je očividný. Meranie sa uskutoční buď v jednej, alebo v druhej škále. Preto je dosť nezmyselná požiadavka niektorých členov poradného výboru CCQM, aby bola do bilancie neistoty pri medzinárodných porovnaníach pridaná hodnota 0,01, ktorá má zohľadniť chybu konvenčnej stupnice voči termodynamickej. Je to vlastne „miešanie hrušiek a jabĺk“.

Možno sa v budúcnosti dopracujeme ku správnejšiemu meraniu pH . Predpokladá to však znalosť presnejších hodnôt aktivitných koeficientov chloridových iónov a tiež ich teplotné závislosti. Tieto údaje zatiaľ v literatúre chýbajú.

Literatúra

- [1] P. De Bièvre, H. Günzler: Traceability in Chemical Measurement. Springer. p. 207, 2012.
- [2] Pure and Applied Chemistry, Vol. 74, No. 11, pp. 2169–2200, 2002
- [3] R. G. Bates, E. A. Guggenheim: „Report on the Standardization of pH and Related Terminology“. March, 1959
- [4] D. Debasmitha, K. Shekhar, C. Mallika, and U. Kamachi Mudali: New Data on Activity Coefficients of Potassium, Nitrate, and Chloride Ions in Aqueous Solutions of KNO_3 and KCl by Ion Selective Electrodes, International Scholarly Research Network ISRN Chemical Engineering Volume 2012, Article ID 730154
- [5] L. Vyskočil, A. Mathiasová: Primárne meranie pH , Metrologia a skúšobníctvo 5. 2000, str. 11
- [6] Bates R. G: Determination of pH , John Wiley New York 1954
- [7] L. Vyskočil: Spresnené hodnoty Debyeovej – Hückelovej konštanty, Metrologia a skúšobníctvo, roč. 5, 2000, č. 1, s. 21–22.
- [8] Armin C. Schneider, Christoph Pasel, Michael Luckas, Klaus Gerhard Schmidt, and Jan-Dirk Herbell: Determination of Hydrogen Single Ion Activity Coefficients in Aqueous HCl Solutions at $25^\circ C$, Journal of Solution Chemistry, Vol. 33, No. 3, March 2004
- [9] Anna Dagheti, Sergio Trasati: Determination of single ion activities by relying on the electrical double layer model: NaF aqueous solutions, CAN. J. Chem. Vol. 59. 1981
- [10] Armin Ferse: Some Aspects on the Problem of Individual Activity Coefficients of Single-ion Species of Aqueous Strong Electrolytes, International Journal of Chemistry; Vol. 4, No. 4; 2012
- [11] IUPAC: Measurement of pH . Definitions, standards and procedure, Pure Appl. Chem., Vol. 74, No. 11, pp. 2169–2200, 2002.
- [12] A. Vospělová: Státní etalon veličiny pH ; Metrologie 3, 2014, str. 2

25 LET PRIMÁRNÍ METROLOGIE ELEKTRICKÉHO ODPORU V ČR Od klasických etalonů odporu ke kvantovým realizacím

**Ing. Jan Kučera Ph.D., Ing. Petr Chrobok,
Ing. Lucie Vojáčková**

Český metrologický institut

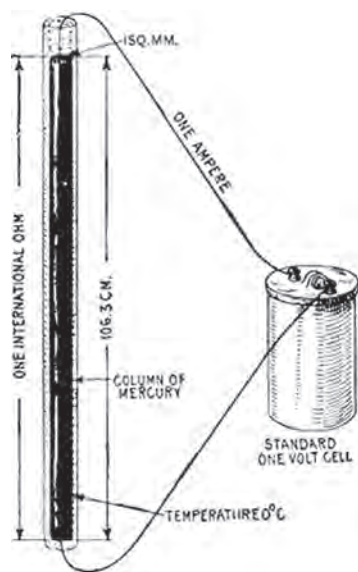
1. Úvod

V roce 2018 uplynulo 25 let od okamžiku, kdy započalo budování primární etalonáže stejnosměrného elektrického odporu v České republice. Domníváme se, že by bylo škoda nevyužít této příležitosti a neohlédnout se za často trnitou cestou, která dokázala pracovníkům laboratoře připravit řadu bezesných nocí. Již předem můžeme prozradit, že cesta to byla úspěšná. Pro zvědavé čtenáře začneme ale nejprve krátkým výletem do dávné historie elektřiny a odporu vůbec...

2. Z historie jednotky ohm

Přibližně 600 let př.n.l. zaznamenali antičtí Řekové, že jantary třené o kožešinu mohou přitahovat lehké předměty – objevili v podstatě statickou elektřinu. Ze středověku pochází i archeologické nálezy římských a perských nádob, o kterých se někteří vědci domnívají, že mohly být elektrickými články. A protože následující dva tisíce let byly z pohledu rozvoje elektřiny takřikajíc „dobou temna“, pojďme se posunout v čase na konec 17. století, kdy se v mnoha zemích začaly rozvíjet vědecké experimenty s elektřinou. Z řady experimentů, provedených kolem roku 1825, zjistil německý fyzik Georg Simon Ohm, že každá látka klade procházejícímu proudu určitý odpor.

Ohm ukázal, že delší drát má větší elektrický odpor než kratší drát z téže látky a se stejným průřezem. Ohmovy experimenty ukázaly, že mezi elektrickým odporem, napětím a proudem existuje u kovových vodičů jednoduchý vztah, který se stal základem pro konstrukci elektrických obvodů a dnes jej známe pod názvem Ohmův zákon: I (proud) = U (napětí) / R (odpor). V roce 1861 Britská vědecká komise započala práce na určení nevhodnější jednotky pro elektrický odpor. Tato jednotka byla přijata v roce 1865. První „mezinárodní ohm“ definovaný pomocí sloupce rtuti byl přijat v roce 1893 v Chicagu na druhém Mezinárodním kongresu



Obr. 1: Schéma realizace prvního mezinárodního ohmu pomocí sloupce rtuti o hmotnosti 14,4521 g, stálém průřezu 1 mm² a délce 106,300 cm při teplotě tajičícího ledu [1]

elektrotechniků (**Obr. 1**). Etalony odporu se začaly realizovat ve formě spirál z odporového vodiče navinutého na pomocné konstrukci, a pro přesná měření byly doplněny o proudové a napěťové svorky (**Obr. 2**).



Obr. 2: Etalon odporu 1 Ω, výrobce Leeds & Northrup, z přelomu 19. a 20. století [1]

Pro zajímavost: mezitím se např. ve Francii počítalo s jednotkou „kilometr odporu“, reprezentovanou odporem železného telegrafního drátu o průměru 4 mm a délky 1000 m (ovšem hodnota výrazně závisela na použitém železném drátu). Oproti tomu v Německu se užívala jednotka Siemens, označená symbolem US, kdy rezistor tvoří sloupec rtuti délky 1 m a průřezu 1 mm². Hodnota jeho odporu je odhadována na 0,9536 ohmů. Ve starší soustavě jednotek CGS měl odpor dokonce rozměr rychlosti; jeho teoretická jednotka byla cm/s.

Jistě není třeba připomínat fakt, že elektrické obvody, jejichž součástí je vždy v nějaké formě i elektrický odpor, byly jedním z hnacích motorů druhé průmyslové revoluce. Dnes se bez elektřiny neobejde téměř žádný průmyslový proces. Výzkum a život ve vyspělých částech světa je bez ní nemyslitelný. Následující řádky seznámí čtenáře s historií 25 let vývoje budování primární etalonáže stejnosměrného (ss) elektrického odporu v ČR, představí měřicí přístroje a etalony, které byly základem pro vytvoření a zajištění státních etalonů i kalibračních služeb na špičkové světové úrovni.

3. Nový začátek po rozdělení ČSFR

Vznik ČMI

Rozdělení Československa na konci roku 1992 znamenalo nejen mnoho změn pro obyvatele dnes již bývalé České a Slovenské Federativní Republiky (ČSFR), ale samozřejmě mělo vliv i na mnohá odvětví průmyslu, hospodářství a v neposlední řadě významně zasáhlo i do oblasti metrologie jako takové. Se vznikem České republiky se v roce 1993 tehdejší Ministerstvo hospodářství (MH) stalo ústředním orgánem státní správy pro metrologii. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) plnil funkci odborného a správního orgánu.

Ministerstvo hospodářství ČR zřídilo k 1. 1. 1993 na základě zákona České národní rady č. 20/1993 Sb. Český metrologický institut (ČMI), jako národní metrologický orgán ČR, který měl za úkol zabezpečovat technickou stránku metrologie. A právě ČMI se stalo dějištěm příběhu o primární metrologii ss elektrického odporu v ČR, který nebyl v začátcích ČMI bezesporu jediným, o němž by se dalo psát. Co tedy stálo za často nelehkým úkolem budování primární etalonáže ss elektrického odporu v ČR?

Na počátku rozvoje

Již v roce 1993, na základě koncepce rozvoje metrologie v ČR, bylo rozhodnuto o zavedení primární etalonáže stejnosměrného elektrického odporu na pracovišti ČMI - Oblastní inspektorát Praha (ČMI - OI Praha). Základním cílem bylo zabezpečit v nejbližší době jednotnost a správnost měření ss elektrického odporu v ČR přenosem jednotky elektrického odporu od primárních etalonů až na pracovní měřidla uživatelů. Je nutné si uvědomit, že od roku 1969 tuto činnost zajišťovalo primární pracoviště Československého metrologického ústavu (ČSMÚ), které se po rozdělení ČSFR stalo Slovenským metrologickým ústavem (SMÚ) v Bratislavě. Pro ČMI to znamenalo, že v SMÚ zůstalo více než 20 let teoretických a praktických zkušeností v primární etalonáži ss a st elektrického odporu, primární skupinový etalon (PSE) a pravidelná návaznost cestovních etalonů v BIPM (Sèvres, Francie). SMÚ také disponoval velmi dobrým metrologickým vybavením se špičkovou měřicí technikou a rozsáhlým sortimentem kvalitních klasických primárních, referenčních a pracovních etalonů v širokém rozsahu hodnot ($10^{-4} \Omega \div 10^{12} \Omega$) se znalostí jejich dlouhodobé historie.

V oddělení primární metrologie ss elektrického odporu v ČMI - OI Praha byla proto zahájena zcela nová etapa. Cíl? V relativně krátké době nabídnout zákaznický servis pro oblast elektrických odporů, odporových mostů, dekád a bočníků. To znamenalo vytvořit odpovídající technické, personální a organizační podmínky pro vznik primární etalonáže ss el. odporu, včetně zajištění mezinárodní ná-



Obr. 3: První proudový komparátor GUILDLINE 9975 s příslušenstvím (Kanada), první olejový termostat MEATEST M 301 s uloženými etalony odporu a první pracovník ČMI v primární laboratoři v roce 1994.

vaznosti prostřednictvím cestovních (transportních) etalonů elektrického odporu v BIPM. Začínalo se ovšem pouze s vlastními sekundárními etalony a zkušenostmi se sekundární etalonáží ss el. odporu.

Na konci r. 1993 je laboratoř již vybavena potřebným měřicím zařízením, především ss proudovým komparátorem GUILDLINE typ 9975 s příslušenstvím (Kanada) k poměrovému měření etalonů odporu. Až v průběhu roku 1994 získává postupně další metrologické vybavení české a zahraniční výroby (olejový termostat MEATEST M 301, sadu etalonů odporu GUILDLINE typ 9330, sady etalonů odporu ZIP typ P33x, vysokoohmové etalony odporu a dekády, číslíkový teploměr GUILDLINE typ 9540).

První experimentální měření postupně prověřila všechny funkce a různé možnosti zapojení komparátoru GUILDLINE 9975 k poměrovému měření etalonů odporu. Následovalo ověření metrologických vlastností komparátoru 9975 porovnávacím měřením se zapůjčeným automatickým komparátorem GUILDLINE typ 6675. Měření prokázala při poměrech 1:1 a 10:1 vzájemnou shodu obou komparátorů na úrovni přesnosti uvedené ve specifikacích. Bylo též provedeno porovnání přímého měření a substituční tárovací metody. Dosažitelná přesnost měřeného poměru byla $0,2 \cdot 10^{-6}$ ze čtené hodnoty + 1 krok poslední dekády.

4. Budování laboratoře s klasickými etalony

Návaznosti na BIPM, LCIE a PTB

V souladu se skutečností, že BIPM v minulosti ověřovalo (nyní se používá termín kalibrovalo) pro národní laboratoře pouze jmenovité hodnoty etalonů odporu 1 Ω a 10 k Ω při teplotě 20 $^{\circ}\text{C}$, byly v roce 1994 připraveny první cestovní (porovnávací) etalony odporu na cestu do BIPM. Tím byla zahájena poměrně dlouhá etapa navazování ČMI na BIPM - buď formou rutinní kalibrace provedené v BIPM nebo v rámci bilaterálního porovnání mezi BIPM a ČMI.

Na základě návaznosti na BIPM byly stanoveny nové hodnoty sady primárních pracovních etalonů (PPE), dnes se používá termín referenčních etalonů (RE), v rozsahu 0,000 1 $\Omega \div 100$ k Ω a vypočítány nejistoty naměřených hodnot. Návaznost PPE z roku 1994 byla prakticky prověřena již na počátku r. 1995, kdy bylo zahájeno ověření sady etalonů odporu (0,000 1 $\Omega \div 100$ k Ω) s dokumentovanou historií, pro sekundární laboratoř elektrických veličin ČMI-OI Brno, dosud navazující své etalony v ČSMÚ. Byla prokázána velmi dobrá shoda mezi predikcemi etalonů na základě historie naměřených hodnot z ČSMÚ a jejich novými hodnotami naměřenými v ČMI pomocí komparátoru GUILDLINE 9975.

Protože laboratoř vlastnila už i referenční etalony vyšších ohmických hodnot než 100 k Ω a BIPM tuto službu neposkytovalo, bylo třeba zajistit návaznosti i na jiné zahraniční metrologické instituty. Konkrétně od roku 1995 se začaly navazovat referenční vysokoohmové a ultravysokoohmové etalony odporu (1 M $\Omega \div 100$ T Ω) v primární laboratoři elektrických veličin ve Francii (LCIE) a později též v Německu (PTB).

Kalibrace a nové způsoby realizace stupnice

V letech kolem roku 1995 již primární laboratoř el. odporu ČMI – OI Praha plně nahradila kalibrační služby původní ČSMÚ pro české uživatele: ČMI-OI Brno (primární laboratoř ss a nfelektrických veličin), ČMI-OI Praha (primární a sekundární laboratoř teploty), METRA Blansko, TESTCOM Praha, ZPA Nová Paka, EZÚ Praha a další.

Komerční vývoj šel rychle kupředu a bylo třeba přizpůsobit vybavení laboratoře vyšším požadavkům zákazníků. Proto byly od roku 1995 postupně nahrazeny některé časově nestabilní a tlakově výrazně závislé cestovní etalony ZIP a GUILDLINE kvalitnějšími a časově stabilnějšími etalony odporu typu Tinsley, a také etalony typu ESI odolnějšími vůči transportu (např. etalon odporu ESI SR 104 – 10 kΩ). Laboratoř byla dále dovybavena číslicovým teraohmmetrem GUILDLINE 6500A.

V roce 1997 dochází z metrologického hlediska k zásadní změně: k přechodu na novou referenční teplotu při kalibraci klasických etalonů odporu. Místo 20 °C je nyní teplota pro kalibraci stanovena na 23 °C. To znamenalo významný zásah do již v té době tři roky budované historie primárních etalonů, která je pro každou takovou laboratoř velmi důležitá.

Současně již v roce 1997 laboratoř zahajuje první experimenty s návazností nízkohodnotové stupnice el. odporu (1 Ω ÷ 10 kΩ) pomocí kombinovaných (transferových) etalonů odporu Hamonova typu (ESI SR 1030 jmenovitých hodnot 1 Ω, 10 Ω, 100 Ω, 1 kΩ, 10 kΩ, 100 kΩ). Desítkové násobky ohmu odvozené pomocí Kombinovaných etalonů odporu (KEO) mohou dosáhnout za optimálních podmínek relativní přesnosti až 0,01 · 10⁻⁶. Dosažená shoda mezi hodnotami transportních etalonů jmenovitých hodnot 1 Ω z BIPM a stejnými jmenovitými hodnotami odvozenými z etalonu odporu ESI SR 104 - 10 kΩ pomocí KEO v seriovém a paralelním zapojení (ESI SR 1030 10 x 100 Ω) byla v ČMI na úrovni 0,02 až 0,05 μΩ/Ω.

Výsledky návazností pomocí kombinovaných etalonů odporu byly publikovány v [3], [4] a [6].

Mezinárodní porovnání

Pro primární laboratoře, a samozřejmě nejen pro ně, jsou významná mezinárodní porovnání. Ať již mluvíme o nejvyšší metě dosažitelné pro primární laboratoře el. odporu – tzv. on-site porovnání, nebo mezinárodních porovnáních, které umožňují ověření měřicích schopností laboratoře. Hlavními cíli takovýchto porovnání jsou obvykle:

- ověřit kompetenci laboratoří provádějících kalibrace,
- ověřit nejistoty měření deklarované laboratořemi,
- případně poskytnout zemím možnost posouzení úrovně, návaznosti jejich etalonů na mezinárodní etalony.

Když v období 1997-98 zorganizoval nizozemský metrologický institut (NMI-VSL) projekt mezinárodního porovnání v oblasti elektrických měření (ss napětí a odpor) s účastí 13 zemí střední a východní Evropy, nechybělo ani ČMI. Mezi účastníky kolovaly 3 dvojice etalonů odporu GUILDLINE typ 9334 (10 Ω a 10 kΩ).

Ze všech zúčastněných zemí dosáhla naše primární laboratoř nejlepších výsledků, kdy relativní rozdíl δ oproti referenční hodnotě byl:

$$10 \Omega: \delta = |R_{\text{CMI}} - R_{\text{ref}}| / R_{\text{nom}} = 0,1 \mu\Omega/\Omega; U_C = 1 \mu\Omega/\Omega$$

$$10 \text{ k}\Omega: \delta = |R_{\text{CMI}} - R_{\text{ref}}| / R_{\text{nom}} = 0,05 \mu\Omega/\Omega; U_C = 1 \mu\Omega/\Omega$$

Přesvědčili jsme se, že velmi dobré výsledky může přinést pouze pravidelná kalibrace cestovních etalonů ČMI jmenovitých hodnot 1 Ω a 10 kΩ v BIPM a jejich přenos na referenční etalony odporu k realizaci násobků a dílů primárních pracovních etalonů (referenčních etalonů) pomocí ss proudového komparátoru GUILDLINE typ 9975.

I když většina ze zúčastněných zemí nedosahovala úrovně špičkových evropských metrologických laboratoří ss elektrického odporu, dosažené výsledky naší laboratoře byly zcela srovnatelné s úrovní ostatních primárních evropských laboratoří, které ještě neměly návaznost etalonů odporu odvozenou z vlastní kvantové heterostruktury na principu kvantového Hallova jevu (KHJ).

Příprava na vyhlášení státního etalonu

V roce 1997 byly dodány do ČMI dva etalony odporu jmenovitých hodnot 1 Ω od výrobce etalonů odporu CSIRO - NML (Austrálie), které patří k nejstabilnějším etalonům odporu na světě. Oba etalony se po dobu 4 let dlouhodobě stabilizovaly u výrobce před vlastním dodáním do ČMI. Právě tyto dva etalony se později s ESI SR 104 – 10 kΩ stanou členy státního etalonu.

Pozorný čtenář si všimne, že některé dnešní etalony pro primární metrologii (**Obr. 4**) jsou stále podobné konstrukce jako před 100 lety (**Obr. 2**). Přesto se liší v jemných detailech a konstrukčních materiálech, které zajišťují jejich vysokou kvalitu pro dnešní metrologii. Samozřejmě, že zároveň jsou vyvíjeny etalony odlišných konstrukcí, včetně hermetického uzavření a transportního provedení, např. **Obr. 5**.



Obr. 4: Dva etalony odporu 1 Ω výrobce CSIRO-NML (později budou členy státního etalonu) v olejovém termostatu spolu s etalonem odporu výrobce Tinsley.



Obr. 5: Etalon odporu 10 kΩ výrobce ESI, typ SR 104 - 10 kΩ (pozdější člen státního etalonu) ve vzduchovém termostatu MI 9300.

Vyhlášení státního etalonu na bázi klasických etalonů odporu

V roce 1998 byly zahájeny v ČMI – OI Praha přípravy k vyhlášení státního etalonu ss elektrického odporu složeného ze jmenovitých hodnot 1 Ω a 10 kΩ. Metrologické charakteristiky obou připravovaných budoucích členů státního etalonu ss elektrického odporu CSIRO NML - 1 Ω i transportního etalonu odporu ESI typ SR 104-10 kΩ byly vynikající (stabilita lepší než 0,2 μΩ/Ω/rok, teplotní koeficienty nižší než 0,011 μΩ/Ω/K, tlakový koeficient nižší než 0,000 4 μΩ/Ω/hPa).

Vyhlášení státního etalonu ss elektrického odporu každé primární laboratoře závisí především na úspěšném provedení bilaterálního porovnání klasických etalonů odporu jmenovitých hodnot 1 Ω a 10 kΩ mezi příslušnou národní laboratoří a BIPM. Tato porovnání v roce 1998 a 2000 dopadla úspěšně [2], [3] a dosažené výsledky byly ve shodě se specifikovanou přesností, rozlišovací schopností a citlivostí komparátoru GUIDLINE 9975:

$$1 \Omega: \quad \delta = |R_{\text{CMI}} - R_{\text{BIPM}}| / R_{\text{nom}} = 0,11 \mu\Omega/\Omega; U_C = 0,2 \mu\Omega/\Omega$$

$$10 \text{ k}\Omega: \quad \delta = |R_{\text{CMI}} - R_{\text{BIPM}}| / R_{\text{nom}} = 0,12 \mu\Omega/\Omega; U_C = 0,4 \mu\Omega/\Omega$$

Primární etalon ss elektrického odporu začal plnit funkci státního etalonu v roce 2000 na základě Schvalovacího protokolu č. 6 státního etalonu ss elektrického odporu, vydaného Úřadem pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) pod označením ECM 230-1/00-006. Podrobnosti jsou uvedeny v [4] a [5]. Laboratoř se však nadále periodicky navazovala na BIPM pomocí transportních etalonů.

Rozšířená nejistota členů státního etalonu odporu je uvedena v **Tabulce 1** ve sloupci pro rok 2000.

5. Budování kvantové laboratoře

Dalším velmi důležitým milníkem vývoje primární metrologie el. odporu v ČR bylo budování kvantové laboratoře. To mělo zajistit, že pomocí kvantového etalonu odporu bude možné v budoucnu v pravidelných intervalech kalibrovat etalony odporu národní laboratoře (státní etalony a referenční etalony), které byly dříve vystaveny značným rizikům při jejich transportech do BIPM a zpět do ČMI (mechanické namáhání a extrémní teplotní výkyvy).

Zároveň schopnost kalibrovat etalony elektrického odporu na principu kvantového Hallova jevu (KHJ) měla umožnit výrazné snížení nejistot naměřených hodnot v oblasti ss elektrického odporu. Což je požadavkem nejen pro kalibrace ze strany primárních a sekundárních laboratoří ČMI (Praha a Brno), ale i pro ostatní organizace požadující co nejmenší nejistoty.

Z těchto důvodů bylo v roce 1998 – na základě schválené koncepce ČMI – rozhodnuto vybudovat kvantovou laboratoř stejnosměrného elektrického odporu na principu kvantového Hallova jevu v ČMI – OI Praha a v další etapě vyhlásit nový státní etalon ss elektrického odporu, tentokrát již na principu KHJ. Toto rozhodnutí bylo významným počinem z hlediska prestiže ČMI, protože kolem roku 2000 byly dosud vybudovány kvantové laboratoře pouze v západoevropských zemích a v Rusku.

Kvantový Hallův jev

Pojďme si ale nejprve osvětlit, co se pod pojmem kvantový Hallův jev (KHJ) skrývá. Na rozdíl od klasických etalonů odporu, které jsou závislé na časově proměnlivých vlastnostech konstrukčních materiálů (např. manganin) a jsou citlivé na podmínky měření (teplota, atmosférický tlak, atd.), KHJ nám dává možnost vztáhnout měřený odpor k základním přírodním konstantám.

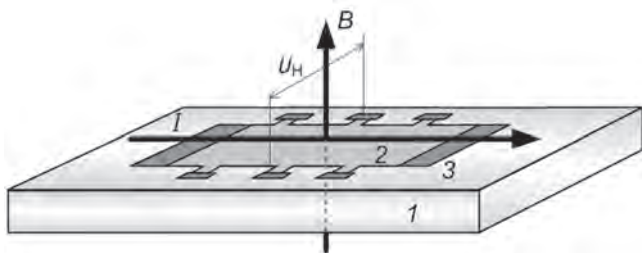
Kvantový Hallův jev představuje jeden ze dvou největších objevů v oboru fyziky pevných látek v posledních 20 letech minulého století (spolu s vysokoteplotní supravodivostí). Německý fyzik Klaus von Klitzing získal za objev KHJ v roce 1985 Nobelovu cenu za fyziku.

Odpor etalonu R_H je definován pomocí von Klitzingovy konstanty R_K :

$$R_H = \frac{R_K}{i} = \frac{h}{i \cdot e^2}, \quad (1)$$

kde i je celé číslo, h Planckova konstanta a e elementární náboj. Ke kvantovému jevu dochází na polovodičové heterostruktuře při teplotách blízkých absolutní nule a ve vysokých magnetických polích. Proud I přivedený na krajní kontakty polovodičové heterostruktuře (**Obr. 6**) způsobí Hallovo napětí U_H odpovídající odporu R_H .

Změnou magnetického pole lze dosáhnout různých hodnot i . V metrologické praxi se využívá nejčastěji 2. plató ($i = 2$) při magnetickém poli zhruba 10 T, případně 4. plató ($i = 4$). Dle CODATA 2010 je doporučená konvenční hodnota von Klitzingovy konstanty $R_{K90} = 25\,812,807 \Omega$. Stojí za zmínku, že nejistota R_{K90}



Obr. 6: Model odporu na bázi kvantového Hallova jevu (1 - polovodičová heterostruktura, 2 - dvoudimenzionální elektronový plyn, 3 - kontakty)

($0,1 \mu\Omega/\Omega$) se dle dohody standardně nezapočítává do nejistoty v kalibračních listech, jelikož všechny laboratoře vychází ze stejné hodnoty konstanty. Definice podmínek a doporučení pro metrologicky spolehlivé měření kvantového Hallova odporu, která je vhodné dodržovat, jsou uvedeny v [6]. Jedná se o sérii experimentálních měření ověřujících kvalitu nakvantování struktury, které je nezbytné pravidelně provádět (kontrola podélného odporu struktury v závislosti na magnetickém poli, odpor kontaktů na struktuře a přívodů, shoda v měřeních s potenciálními kontakty v různé geometrii apod.)

Kvantová laboratoř v ČMI

Postupné budování nové kvantové laboratoře v ČMI bylo zahájeno dodáním měřicího systému QHR 2010 od CRYOGENIC (Velká Británie) a dalšího příslušenství v několika etapách od roku 1999. Vhod přišly i zkušenosti se starší aparaturou pro KHJ umístěnou v FzÚ AVČR, s níž ČMI spolupracovalo. Princip měřicího systému QHR 2010 je uveden na Obr. 7. Systém obsahoval především:

- kryostat se supravodivým magnetem a variabilní teplotní vložkou pro dosažení pracovních teplot kvantového Hallova odporu (QHR) až 0,3 K,

- kryostat s kryogenním proudovým komparátorem (CCC), pracovní teplota 4,2 K,
- řídicí elektronika, měřicí přístroje pro nastavení provozních parametrů systému,
- referenční etalon odporu Tinsley 100 Ω .

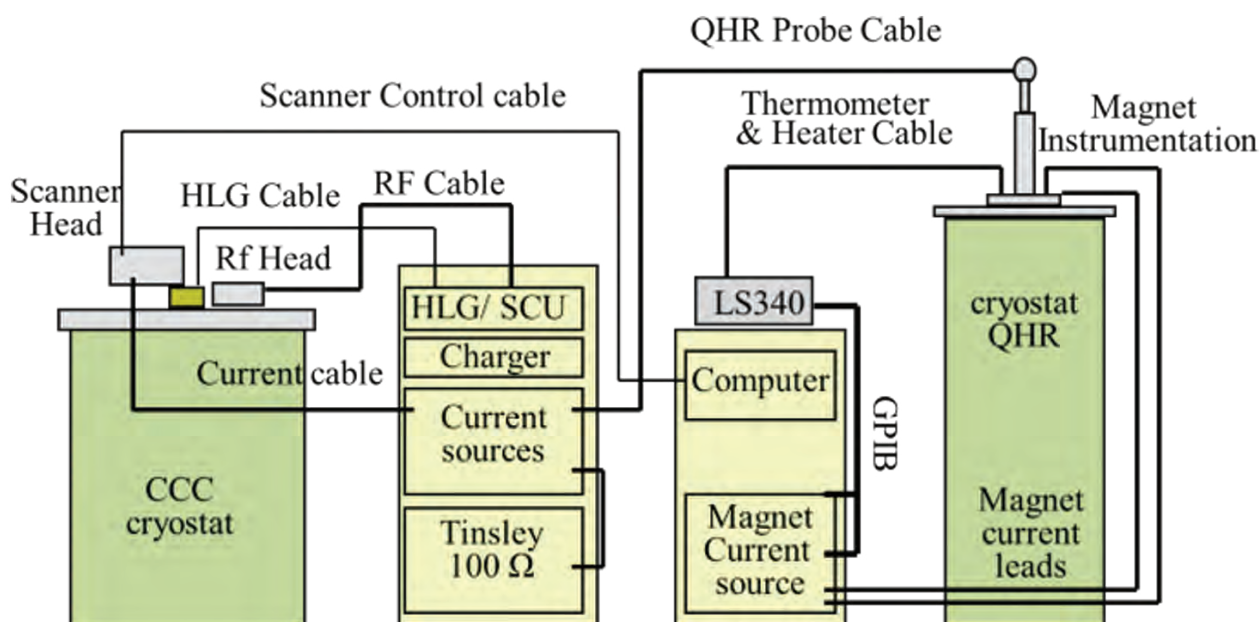
Kryostaty s vakuovaným pláštěm se předchlazovaly tekutým dusíkem a poté plnily tekutým héliem; QHR se dochlazovalo z 4,2 K na 0,3 K pomocí zkapaňování vzácného plynu ^3He .

Ovšem brzo se ukázalo, že systém je často nespolehlivý a bude ještě vyžadovat řadu oprav a vylepšení. Systém byl sice modulární, ale identifikace zdroje problémů činily problémy i samotnému výrobcí. Po mnoha úpravách v ČMI a na pracovišti fy CRYOGENIC, včetně řady neúspěšných testovacích měření a experimentů, se podařilo realizovat první vyhovující experiment (návaznost referenčního etalonu 100 Ω na kvantovou strukturu) až po 3 letech (!) v roce 2003.

Parametry systému:

- Pracovní rozsah (pro porovnání vůči internímu referenčnímu etalonu (RE) odporu 100 Ω): 1 Ω ÷ 10 k Ω
- Specifikace CCC s rel. rozšířenou nejistotou (95%):
 - Přenos z QHR na interní RE : 0,01 ppm
 - Přenos z interního RE na etalony odporu 1 Ω , 10 Ω , 100 Ω , 25 Ω , 1000 Ω , 10 k Ω : $\leq 0,03$ ppm

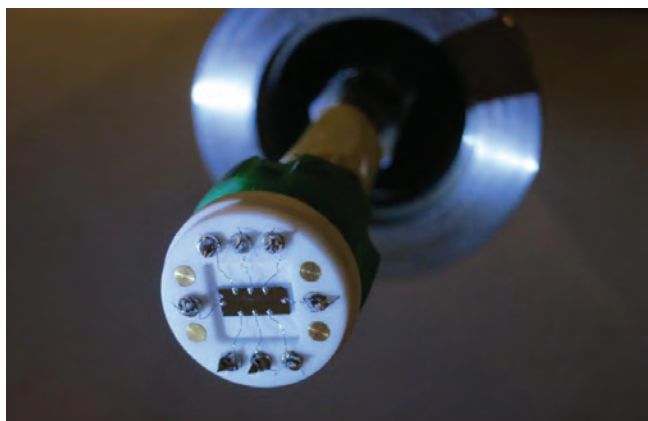
V roce 2003 započala druhá etapa budování kvantové laboratoře: přípravy na vyhlášení státního etalonu ss el. odporu na principu KHJ, popsané v [7], [8], [9], včetně úspěšných mezinárodních porovnání [10], [11], [12]. Laboratorní vybavení bylo dále doplněno o automatický odporový most MI 6010Q kanadské firmy Measurements International – jedná se o proudový komparátor pracující při pokojových teplotách.



Obr. 7: Model měřicího systému CRYOGENIC QHR 2010: kryostat s kryogenním proudovým komparátorem (vlevo); řídicí jednotka s přesnými proudovými zdroji, měřiče hladiny tekutého hélia, referenční etalon odporu Tinsley 100 Ω , proudový zdroj SM120 pro supravodivý magnet (uprostřed); kryostat pro realizaci KHJ (vpravo).

Experimentální práce obnášely charakterizaci kvality nakvantování struktury QHR (**Obr. 8**) podle [6] a provedení přenosu hodnoty R_H pro 2. i 4. plató na interní referenční etalon (RE) Tinsley 100 Ω pomocí kryogenního proudového komparátoru (CCC) fy CRYOGENIC.

Rozšířená nejistota realizace $R_H(2)$ byla stanovena na 0,008 $\mu\Omega/\Omega$. Následující přenos hodnoty RE na ostatní etalony odporu nízkohmové laboratoře (1 Ω , 10 Ω , 100 Ω , 1 k Ω , 10 k Ω , 12,9 k Ω) se prováděl pomocí CCC. V období, zejména pro roce 2008, kdy se objevovaly různé závady CCC, byl tento přenos realizován pomocí odporového mostu MI 6010Q. Přenos hodnoty QHR na další etalony odporu se prováděl vždy dvakrát ročně.



Obr. 8: Polovodičová struktura, ve které dochází ke KHJ, s připájenými vodiči pro přenos hodnoty Hallova odporu z kryogenních teplot na pokojovou teplotu.

Vyhlášení státního etalonu na bázi KHJ

Z technického hlediska je zavedení státního etalonu ss elektrického odporu na bázi KHJ odůvodněno potřebou zvýšení přesnosti kalibrace etalonů a ostatních měřidel elektrického odporu na sekundární úrovni české metrologie a v oblasti špičkového průmyslu, např. v jaderné energetice.

Dosažená úroveň státního etalonu v hierarchii primární etalonáže ss elektrického odporu má přímý vliv na nejdůležitější oblast nejpřesnějšího měření elektrických veličin celosvětové působnosti - vývoj, výzkum, výrobu, servisní činnost a kalibraci číslicových měřicích přístrojů (multimetrů), kalibrátorů a multikalibrátorů, nejen v oblasti ss a st odporu, ale i ss a st proudu, dále při kalibraci nejpřesnějších odporových referencí, odporových převodníků, v rozsahu působnosti všech uživatelů měřicí techniky elektrických a neelektrických veličin v ČR.

Nepřímý, avšak velmi důležitý, přínos realizace státního etalonu odporu je v oblasti měření teploty, kde platinovým odporovým teploměrem měníme měření teploty na nejpřesnější dosažitelné měření elektrického odporu v primárních a sekundárních laboratořích teplotně-technických veličin, v jaderných elektrárnách a ve sféře všech uživatelů průmyslového měření teploty v ČR.

V letech 2007 až 2008 se uskutečnilo klíčové bilaterální porovnání mezi BIPM a ČMI s transportními etalony 1 Ω a 10 k Ω . Výsledek porovnání je ze strany BIPM prezentován

rozdílem naměřených hodnot obou laboratoří δ a rozšířenou relativní nejistotou ($k=2$) označenou jako U_c :

1 Ω :

$$\delta = (R_{\text{CMI}} - R_{\text{BIPM}}) / R_{\text{nom}} = 0,040 \mu\Omega/\Omega$$

$$U_c = 0,062 \mu\Omega/\Omega$$

10 k Ω :

$$\delta = (R_{\text{CMI}} - R_{\text{BIPM}}) / R_{\text{nom}} = -0,028 \mu\Omega/\Omega$$

$$U_c = 0,070 \mu\Omega/\Omega$$

Na základě mezinárodního porovnání etalonů odporu jmenovitých hodnot 100 Ω (EUROMET EM-K 10) a bilaterálních klíčových porovnání etalonů odporu jmenovitých hodnot 1 Ω a 10 k Ω mezi kvantovými laboratořemi BIPM a ČMI (BIPM.EM-K13a - 1 Ω a BIPM.EM-K13.b-10 k Ω) byl na základě schvalovacího protokolu č. 43 státního etalonu ss elektrického odporu na bázi KHJ předmětný etalon vyhlášen v roce 2008 za státní etalon České republiky. Etalonu je přiděleno kódové označení ECM 230-1/08-043. Parametry etalonu jsou uvedeny v Tabulce 1, ve sloupci pro rok 2008.

Tabulka 1: Vybrané metrologické charakteristiky státního etalonu, nejistoty jsou rozšířené ($k=2$)

Jmenovitá hodnota	Výrobce, Typ	Relativní nejistota v $\mu\Omega/\Omega$		
		Rok 2000	Rok 2008	Rok 2017
Odporý				
Realizace $R_H(2)$	PTB, GaAs	–	0,008	0,0040
1 Ω	CSIRO NML	0,11	0,06	0,046
100 Ω	Tinsley 5685A	–	0,03	0,012
10 k Ω	ESI SR 104	0,12	0,07	0,034
Poměry				
100 Ω / $R_H(2)$	2008:	–	0,02	0,011
1 Ω / 100 Ω	Cryogenic CCC, MI	–	0,02	0,0066
10 k Ω / 100 Ω	2017: Magnicon CCC-1	–	0,02	0,0084

Zajištění celé stupnice v rámci ČMI

Pro zpřesnění kalibrace nízkohmových, vysokoohmových a ultravysokoohmových etalonů odporu bylo nutné po roce 2000 dovybavit pracoviště novými mosty. Proudový komparátor GUILDLINE 9975 byl nahrazen automatickým mostem MI 6010C s příslušenstvím (10^{-4} Ω až 100 k Ω , měřicí proud s extenderem až 100 A). Teraohmmetr GUILDLINE 6500A byl nahrazen automatickým mostem MI 6000B (10 k Ω až 1 G Ω , max. napětí 100 V) a číslicovým elektrometrem Keithley 6517A, později 6517B (10 G Ω až 100 T Ω , max. napětí 1000 V). Návaznost celé vysokoohmové a ultravysokoohmové stupnice poté byla zajištěna již in-

terní návazností na KHJ. S novým měřicím vybavením bylo dosaženo úplné nezávislosti ČMI na předchozích externích kalibracích cestovních etalonů odporu v zahraničí v celém rozsahu $10^{-4} \Omega$ až $100 \text{ T}\Omega$.

6. Modernizace laboratoří

Nové prostory se stíněnými komorami

Laboratoř v původní budově, která dříve sloužila spíše pro kancelářské prostory, byla čím dál více nevyhovující pro realizaci etalonáže ss elektrického odporu na primární úrovni. Hlavní roli v nevhodnosti prostor hrál technický rozvoj v ČR. Ten vedl ke zvýšení rušivých signálů v prostředí, kdy se začaly masivněji využívat bezdrátové technologie (mobilní sítě, wi-fi), spínané zdroje a vlivem rostoucího průmyslu v okolí se zvyšovala i úroveň zemních proudů pod budovou. A tak měření mohla v podstatě probíhat pouze o víkendech a mnohdy také jen v určitých hodinách.

V nově postavené budově v areálu ČMI OI – Praha (rok 2009) byly vybudovány laboratoře s mnohem lepšími podmínkami, srovnatelnými se zahraničními metrologickými laboratořemi, a to zejména díky vybavení stíněnými komorami. Ty byly speciálně navrženy pro potřeby primární laboratoře. Obsahovaly například:

- antistatickou podlahu,
- samostatný klimatizační systém,
- průchody stíněním pro kabeláž a vakuové pumpy,
- otvory v podlaze pro možnost umístění kryostatů na základovou desku budovy (pro minimalizaci vibrací kvantových zařízení).

Díky stíněným komorám bylo umožněno plně využít měřicí čas při jednorázovém zalití kryostatů tekutým héliem: přibližně týden na KHJ a čtyři týdny na CCC. Zároveň byl vyvíjen nový software pro automatizaci řady měření a výpočtů parametrů systému, použity přepínače měřicích míst, které vedly k zefektivnění využití měřicího času nejen KHJ a CCC. Navíc stíněné laboratoře byly vybaveny regulací vzdušné vlhkosti, tudíž ultravysokoohmová laboratoř mohla poskytovat služby celoročně.



Obr. 9: Kryostat se supravodivým magnetem pro realizaci pracovních podmínek KHJ (vlevo), plněný tekutým héliem z Dewarovy nádoby (vpravo) v nových prostorách laboratoře - stíněné komoře.

V květnu roku 2010 byla kvantová laboratoř, včetně nízkoohmové, vysokoohmové a ultravysokoohmové laboratoře, přestěhována do nové budovy. Naštěstí nová a stará budova spolu sousedily, takže etalony odporu a vybavení laboratoře nebyly vystaveny přílišnému stresu při stěhování. To se týkalo i zaměstnanců.

Repase CCC v systému QHR 2010

Od roku 2010 se bohužel v části CCC měřicího systému QHR 2010 začaly opět objevovat opakované závady (někoho možná napadne, zda nebyla doba životnosti systému zahrnuta již v názvu zařízení). Ve spolupráci s ČVUT-FEL se do roku 2013 prováděla částečná rekonstrukce elektroniky CCC, kdy byly navrženy a vyrobeny nové proudové zdroje a vzorkovací moduly jako náhrada za stávající poruchové. Během rekonstrukce se začaly rozkrývat hlubší problémy v systému, především v kryogenní vložce se SQUIDem (velmi citlivý magnetometr používaný pro měření extrémně nízkých hodnot magnetických polí). Konzultace s firmou CRYOGENIC ohledně kryogenní vložky nepřinesly pozitivní výsledky. Vzhledem k potenciálním budoucím nákladům na zprovoznění a údržbu celého systému včetně kryogenní vložky u takto poruchového systému bylo rozhodnuto nahradit elektroniku a kryogenní vložku CCC ze systému QHR 2010 novým CCC, které se zabuduje do stávajícího kryostatu.

V roce 2014 byla do laboratoře dodána nová elektronika a kryogenní vložka CCC-1 firmy MAGNICON (Německo, ve spolupráci s PTB), která představovala špičku ve světě (**Obr. 10**). Uvedený systém umožňuje kalibraci v podstatě libovolného poměru dvou odporů (nejen dekadických). Hlavní parametry jsou v **Tabulce 2**. První testování systému proběhlo neoficiálním porovnáním výsledků kalibrace etalonů jmenovitých hodnot 1Ω a 100Ω provedených v ČMI a BIPM, resp. 10Ω , $10 \text{ k}\Omega$ a $1 \text{ M}\Omega$ z PTB. Pro dosažení co nejnižších nejistot byly etalony převáženy osobně. Výsledky byly více než uspokojivé, a bylo tedy možné začít s pracemi na úpravě státního etalonu a jeho validaci.

Již v roce 2015 došlo k plné charakterizaci zdrojů nejistot v repasovaném systému QHR 2010 s CCC-1 a k úspěšnému bilaterálnímu porovnání jmenovitých hodnot 1Ω a $10 \text{ k}\Omega$ s BIPM [13] a tím i k validaci systému.

Předešlé práce a získané know-how [16] umožnily získat nové CMC pod CIPM MRA v oblasti kalibrace odporových mostů, kterou v Evropě pod CIPM MRA dosud zajišťoval pro primární laboratoře pouze METAS (Švýcarsko).

Tabulka 2: Parametry systému CCC-1

Parametr	Hodnota
Rozsah kalibrovaného odporu	minimálně $0,1 \Omega$ až $1 \text{ M}\Omega$
Měřicí proud	$5 \mu\text{A}$ až 300 mA
Max. délka měřicích kabelů	min. 10 m
Dosažitelná nejistota měření poměru	až $0,005 \mu\Omega/\Omega$



Obr. 10: Systém CCC-1 MAGNICON v kvantové laboratoři. Vlevo kryogenní vložka CCC v kryostatu CRYOGENIC, uprostřed řídicí elektronika, vpravo řídicí počítač s osciloskopem pro sledování signálu SQUIDu.

Automatizace laboratoře

Pro zefektivnění většiny kalibrací, zpracovávání a uchovávání záznamů, které jsou nezbytné pro dodržení managementu jakosti, byla postupně zaváděna automatizace procesů v laboratoři, např.:

- přepínání měřicích míst odporových mostů skenery MI 4210A a 42220A,
- měření provozních teplot všech termostátů pomocí měřicí ústředny Agilent 34970 a precizního teploměru ASL CTR5000,
- záznam tlaku a vlhkosti pomocí VAISALA PTU 300,
- precizní vzduchové termostaty vlastní výroby TB2, TB3 s vysokou homogenitou a stabilitou v jednotkách mK,
- kompletní repase olejových termostátů MEATEST pomocí vlastního TEC kontroléru a výkonové elektroniky,
- software na automatizované zpracování dat z různých zdrojů.

Kontinuální monitorování parametrů umožnilo zjednodušit proces korekcí měření a výpočtu nejistot vlivem tlakových, teplotních a vlhkostních závislostí referenčních i zákaznických etalonů, u kterých korekce během kalibrace mohou dosahovat i několika desetin $\mu\Omega/\Omega$. Zavedení vzdáleného ovládání aparatur umožnilo provádět měření kontinuálně v denním i nočním provozu, což bylo nezbytné vzhledem k časové náročnosti řady měření na primární úrovni (jeden kalibrační bod z opakovaných měření pro nízkohmové etalony vyžaduje až hodinové měření, vysokohmové a ultravysokohmové etalony i přes 8 hodin).

Změna státního etalonu

Po úspěšné validaci repasovaného kvantového systému bylo možné na základě dosavadních výzkumů shrnutých v [14] provést v roce 2017 aktualizaci státního etalonu ECM 230-1/08-043. Etalon je tvořen měřicím systémem skládajícím se z kvantového systému CRYOGENIC QHR 2010 a systému MAGNICON s proudovým komparátorem CCC-1, sestavy členů státních etalonů, dále součástí a přístrojů sloužících k funkci ovládání a diagnostice parametrů státního etalonu (např. heliové kryostaty, výkonový zdroj proudu pro supravodivý magnet, vakuová membránová

a rotační pumpe, teplotní regulátory). Vybrané metrologické charakteristiky jsou v **Tabulce 1**, sloupec pro rok 2017.

On-site porovnání s BIPM

Bilaterální porovnání odporu jsou omezena v dosažitelných nejistotách vlivem mechanického a teplotního namáhání transportních etalonů. Proto se v tomto oboru dá provést validace primární kvantové laboratoře na nejvyšší úrovni pouze pomocí tzv. on-site porovnání, kdy se z BIPM přiveze transportní kvantový systém do příslušné národní laboratoře. V roce 2017 proběhlo v ČMI – OI Praha toto klíčové porovnání (BIPM.EM-K12) ve spolupráci s experty z BIPM. Během týdenních intenzivních proměňování dvou kvantových systémů a kryogenních proudových komparátorů bylo dosaženo výborných výsledků. Bylo nutné provést korekce kmitočtové závislosti některých etalonů v oblasti (0 až 0,1) Hz [15], jelikož komparátory používaly rozdílnou délku reverzačního cyklu pro odstranění vlivu termoelektrických napětí na měření. Dosažené výsledky:

Hodnota 100 Ω z $R_H(2)$:

$$\delta = (R_{\text{CMI}} - R_{\text{BIPM}}) / R_{\text{BIPM}} = -0,0006 \mu\Omega/\Omega$$

$$U_c = 0,0050 \mu\Omega/\Omega$$

Poměr 1 $\Omega/100 \Omega$:

$$\delta = (R_{\text{CMI}} - R_{\text{BIPM}}) / R_{\text{BIPM}} = +0,0011 \mu\Omega/\Omega$$

$$U_c = 0,0044 \mu\Omega/\Omega$$

Poměr 10 k $\Omega/100 \Omega$:

$$\delta = (R_{\text{CMI}} - R_{\text{BIPM}}) / R_{\text{BIPM}} = +0,0033 \mu\Omega/\Omega$$

$$U_c = 0,0064 \mu\Omega/\Omega$$

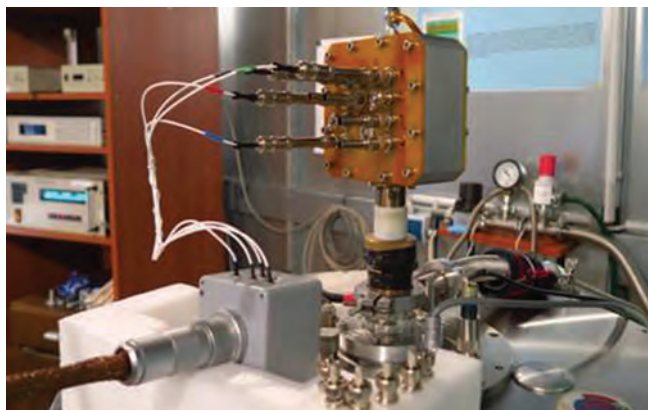
ČR se tak stala vedle Velké Británie, Francie, Německa, Švýcarska a USA šestou zemí na světě s úspěšně dokončeným on-site porovnáním.

7. Od stejnosměrného KHJ ke střídavému

Koncepce rozvoje národního metrologického systému (NMS) počítá s využitím KHJ nejen pro realizaci ss elektrického odporu, ale také s jeho využitím pro realizaci kvantového etalonu impedance. Poté by ss i st impedance jednotky byly odvozeny od jediného kvantového etalonu (doposud se navazuje elektrická kapacita v BIPM). Za účelem zprovoznění st KHJ byla navržena a vyrobena kryogenní vložka VSM12 určená do supravodivého magnetu, splňující nároky na ss i st realizaci KHJ (vysoký izolační odpor, koaxiální kabeláž, malé přeslechy, nízká teplotní vodivost konstrukce, vakuová těsnost).

Metrologické kvality VSM12 byly potvrzeny během on-site porovnání, kdy byla použita. Od roku 2013 probíhaly experimenty s realizací st KHJ na řadě vzorků QHR, vedoucí k úspěšné realizaci střídavého kvantového Hallova jevu v ČMI, s částečnou spoluprací s PTB [18], [19]. Obnášelo to vyvinout řadu přístrojů pro digitální impedance můstky, nízkopřeslechovými multiplexery počínaje a precizními generátory konče [20].

Zároveň byly charakterizovány kvantové struktury na bázi grafénu¹ - nově objeveného materiálu vykazujícího kvantový Hallův jev při vyšších teplotách a nižších magnetických polích, který umožní realizovat kvantový etalon v uživatelsky přístupnějších aparaturách a jeho rozšíření do průmyslu [17].



Obr. 11: Nová vložka VSM12 zasunutá do kryostatu a připojená k CCC. V pozadí vlevo je proudový zdroj supravodivého magnetu, vpravo regulace tlaku v kryostatu pro odsávání héliových par.

8. Závěr

Během uplynulých 25 let došlo k vybudování primární laboratoře nabízející služby na světové úrovni. Začínalo se v podstatě na zelené louce, pouze s vybavením a znalostmi na úrovni sekundární laboratoře. Přes realizaci návaznosti laboratoře pomocí klasických etalonů na BIPM v roce 1993 se podařilo vybudovat kvantovou laboratoř v souladu s doporučením členským státním Generální konference pro míry a váhy (CGPM). Tato laboratoř je teprve šestou na světě s úspěšně dokončeným on-site porovnáním.

Kvantová laboratoř v dnešní podobě společně s nízkoohmovou a vysokoohmovou laboratoří poskytuje především:

- kalibrační služby v oblasti elektrického odporu v rozsahu od 0,0001 Ω do 100 T Ω (hodnota, proudová, teplotní a tlaková závislost),
- kalibrace nízkoohmových i vysokoohmových odporových a teplotních mostů pro primární a sekundární laboratoře v ČR a v zahraničí,
- kalibrace ss/st etalonů odporu a kapacity,
- poradenské služby.

Redefinice jednotek SI

Plánovaná redefinice jednotek SI plně zasáhne primární laboratoře ss elektrického odporu. Vlivem pevného stanovení Planckovy konstanty h a elementárního elektrického náboje e dojde ke stanovení nové hodnoty von Klitzingovy konstanty R_K , která nahradí dosud používanou konvenční hodnotu R_{K90} CODATA z roku 1990. Nová hodnota způsobí relativní změnu hodnoty všech kalibrací elektrického odporu a odvozených měření přibližně o 2×10^{-8} . Taková změna je signifikantní především pro primární laboratoře.

¹ Za objev grafénu byla v roce 2010 udělena Nobelova cena za fyziku

Rozšiřování služeb v budoucnosti

V rámci plnění potřeb zákazníků a sledování nových požadavků ve světě budou primární, sekundární laboratoře a průmysl těžit především z rozšíření služeb v oblasti:

- zahrnutí kalibrace teplotních závislostí a tlakových závislostí etalonů pod CIPM MRA,
- rozšíření kalibrace odporových a teplotních mostů o plnou charakterizaci linearity pomocí nového precizního kalibrátoru mostů,
- zjednodušení návazností jednotek elektrické impedance na primární návaznost střídavých veličin impedance na střídavý kvantový Hallův jev.

Závěrem připomeňme, že kvantový etalon elektrického odporu je nezbytný nejen pro zajištění metrologické návaznosti, ale i jako součást tzv. „kvantového metrologického trojúhelníku“, kombinujícího Josephsonův jev, kvantový Hallův jev a efekt přenosu jednotlivých elektronů a dále hraje nezastupitelnou roli při odvození jednotky kilogram od Planckovy konstanty porovnáním účinků elektrické a mechanické síly.

9. Seznam zkratek

symbol/zkratka	význam
BIPM	Mezinárodní úřad pro míry a váhy
CCC	kryogenní proudový komparátor (Cryogenic Current Comparator)
CIPM MRA	mezinárodní ujednání o vzájemném uznávání národních etalonů a kalibračních listů vystavených národními metrologickými instituty
CMC	kalibrační a měřicí schopnost
CODATA	Výbor pro data pro vědu a techniku (Committee on Data for Science and Technology)
ČMI	Český metrologický institut
KEO	kombinovaný etalon odporu
KHJ	kvantový Hallův jev
MI	Measurements International
QHR	kvantový Hallův odpor (Quantum Hall Resistor)
RE	referenční etalon
R_H	hodnota QHR
R_K	von Klitzingova konstanta
ss	stejnoseměrný
st	střídavý
vř	vysokofrekvenční
VSM12	kryogenní vložka pro ss a st realizaci KHJ

10. Použitá literatura

- [1] N. Hawkins: Hawkins Electrical Guide vol. 3, Theo. Audel & Co., 1914
- [2] Bilateral Comparison of 1 Ω Resistance Standards between the CMI, Prague, Czech Republic and the BIPM, June 1998 by D. Bournaud, P. Chrobok and T. J. Witt (Raport BIPM-98/17)
- [3] Bilateral Comparison of 10 k Ω Standards between the CMI, Czech Republic and the BIPM, April 2000 by P. Chrobok, A. Jaouen, F. Delahaye and T. J. Witt (Raport BIPM-2000/10)
- [4] P. Chrobok: Dokumentace pro schválení a vyhlášení státního etalonu ss elektrického odporu složeného ze jmenovitých hodnot 1 Ω a 10 k Ω , ČMI - OI Praha, 6/2000
- [5] P. Chrobok: Státní etalon ss elektrického odporu, METROLOGIE č. 4/2002
- [6] Delahaye, F., & Jeckelmann, B. Revised technical guidelines for reliable dc measurements of the quantized Hall resistance. Metrologia, 40 (5), 2003, 217
- [7] P. Chrobok, P. Svoboda: First experience with the commercial Quantum Hall Resistance Standard at the Czech Metrological Institute: CPEM, London, 2004
- [8] P. Chrobok, P. Svoboda: Czech national standard of d.c. electrical resistance: on the way from classical to quantum representation, Proceedings on Conf. on prec. elmag. measurements (CPEM), Torino, 2006
- [9] P. Chrobok, P. Svoboda: Quant Ω Bridge MI 6010 Q as an alternative to CCC in the development of the Czech Primary Quantum Standard of electrical resistance: Conference on Quantum Metrology, Poznan, May 5th - 7th, 2008
- [10] EUROMET key comparison EUROMET.EM-K (10 - 100) Ω , May 2004, Bernd Schumacher
- [11] R. Goebel, P. Chrobok, N. Fletcher and M. Stock: Bilateral Comparison of 1 Ω standards (ongoing BIPM key comparison BIPM.EM-K13.a) between the CMI (Czech Republic) and the BIPM, March 2008 (Final report)
- [12] R. Goebel, N. Fletcher, B. Rolland, M. Götz, E. Pesel, Final report on the on-going comparison BIPM.EM-K12: comparison of quantum Hall effect resistance standards of the PTB and the BIPM, Metrologia, 51(1A), 01011, 2014
- [13] B. Rolland, N. Fletcher, J. Kučera, P. Chrobok, a L. Vojáčková, Bilateral comparison of 1 Ω and 10 k Ω standards (ongoing BIPM key comparisons BIPM.EM-K13.a and 13.b) between the CMI (Czech Republic) and the BIPM, Metrologia, vol. 54, no. 1A, p. 1007, 2017
- [14] J. Kučera, P. Chrobok, L. Vojáčková: Zpráva o Státním etalonu ss elektrického odporu složeného ze jmenovitých hodnot 1 Ω , 100 Ω a 10 k Ω na bázi kvantového Hallova jevu (KHJ), č. 1011-ZV-C0001-16
- [15] P. Gournay, B. Rolland, J. Kučera, and L. Vojáčková, On-site comparison of Quantum Hall Effect resistance standards of the CMI and the BIPM: ongoing key comparison BIPM.EM-K12, Metrologia, vol. 54, no. 1A, p. 1014, 2017.
- [16] J. Kučera, L. Vojáčková, and P. Chrobok: On Aspects of Calibration of DC Resistance Ratio Bridges Conf. on prec. elmag. measurements (CPEM), Ottawa, 2016
- [17] J. Kučera, M. Šíra, P. Svoboda, and J. Kaštil, Realization of quantum Hall effect in closed cycle refrigerators, Proceedings on Conf. on prec. elmag. measurements (CPEM), 2016
- [18] J. Kučera, P. Svoboda: Development of Ac Quantum Hall Measurements at CMI, Proceedings on Conf. on prec. elmag. measurements (CPEM), Paris, 2018
- [19] J. Kučera, P. Svoboda, K. Pierz: AC and DC Quantum Hall Measurements in GaAs Based Devices at Higher Temperatures, 2018, zasláno do IEEE Trans. On Instr. Meas.
- [20] J. Kučera and J. Kováč, A Reconfigurable Four Terminal-Pair Digitally Assisted and Fully Digital Impedance Ratio Bridge, IEEE Trans. on Instr. Meas., vol. 67, no. 99, 2018



METROLOGICKÁ STOPA TEMPLÁŘŮ

Ing. František Hnízdil

Česká metrologická společnost

Česká metrologická společnost, z. s. se již tradičně věnuje, vedle metrologické propagace a její výuky, také zaznamenávání metrologické historie. Je se kam obracet, protože měření je tak staré jako sama lidská civilizace. Doklady o legislativním zajištění měření jsou už ve starém Sumeru. Již tehdy bylo zřejmé, že obchod je nutno

podpořit spolehlivými mírami, aby se zabránilo šizení a to jak obchodníků, tak pochopitelně i panovníka, který své daně často vybíral v naturáliích.

Známým milovníkem metrologické historie byl hlavně jeden ze zakladatelů ČMS, její první předseda Dr. Ing. Václav Šindelář, CSc. (*20. 12. 1920 - †11. 04. 2006). Velká část jeho publikační činnosti se týkala právě dějin měření. Obdobným znalcem tohoto oboru dosud je Ing. Jindřich Běťák.



Obr. 1: Velká věž pařížského Templu, který chránil etalon váhy jedné libry platný pro celou Francii. Dnes již tento chrám nenajdete, protože byl srovnán se zemí. (Zdroj: Jaroslav Šedivý, Tajemství a hříchy templářského řádu)

rytířů snad zpočátku skutečně chudých, ale již po necelých dvou stech letech jejich existence tak bohatých, že hamižnost francouzského krále a papežova nerozhodnost a snad i strach, vedla k jejich zrušení a dokonce částečné fyzické likvidaci.

Řád vznikl jako vojensky organizovaný za účelem ochrany křižáckých cest do Jeruzaléma. Tato povinnost byla nakonec i příčinou jejich „vedlejších“ činností, nutných k bezproblémovému zajištění výše zmíněné činnosti „hlavní“. O jaké činnosti se jednalo?

Ve vojenské činnosti, ve které neobyčejně vynikali, měli dokonalý výcvik a psychologickou přípravu, která je dodnes určitým tajemstvím, protože její součástí byl dril snad až za hranicí jejich křesťanské podstaty a vedle naprosté oddanosti panně Marii i také oddanosti ke svým spolubojovníkům. Ne nadarmo byl na jejich pečtidlech motiv koně, na kterém jedou dva rytíři.

Rozložení postů podél cest Středomořím až do Svaté země vedlo k tomu, že mimo vlastní vojenskou ochranu brzy vzali do svých rukou i logicky „navazující“ činnosti. Možnosti snadného napadení poutníků loupeživými tlupami byly velké, a to jak v Evropské části používaných tras, tak zvláště na území islámských Saracénů. Bylo nutné ochránit nejen životy poutníků, ale také jejich majetek, zvláště pak peníze. Peníze nejlépe na cestě ochráním, když je nebudu mít při sobě. Není pak co uloupit. Templáři proto vymysleli a do praxe zavedli systém bezhotovostního placení pomocí směnek, které fungovaly tak, že poutník peníze odevzdal v příslušné templářské komendě svého „bydliště“, dostal písemný doklad o této úlozce a po dosažení cíle cesty mu byla místní komendou vyplacena požadovaná částka. Byl to základ moderního bankovníctví založený na důvěře.

Obdobně templáři vedle ochraňované trasy po souši i po moři nabízeli možnost přepravovat lidi či celé jejich

Tento krátký příspěvek si bere za cíl upozornit na to, že i tajemní rytíři středověkého řádu templářů se zabývali zajišťováním obchodní metrologie, i když jejich likvidace francouzským králem Filipem IV. zvaným Sličný způsobila, že vypátrání stop po této templářské činnosti je dnes velmi obtížné.

Koho z nás by nezaujala historie templářského řádu neboli Chudých rytířů Kristových a Šalamounova chrámu,

skupiny a samozřejmě i zboží mezi Evropou a Orientem. Obchod se stal tedy rovněž oblastí činností templářů.

Důvěra v loajalitu templářů byla tak velká, že jim králové svěřovali správu státních pokladen a pro řadu územních celků, v důsledku obchodních aktivit, zastávali funkci strážců měr a vah. Z hlediska ekonomického to byla funkce závažná a nadmíru užitečná.

Zdálo by se, že strážit míry a váhy byla jen praktická činnost, ale měla také v té době i svoji duchovní, ba co přímo mysteriózní stránku, neboť podle bible **Bůh pravil, že vše stvořil v míře, počtu a váze**. Nebylo by to špatným motto i pro dnešní metrology a techniky.

Pařížský Templ, dnes již neexistující, sloužil mimo jiné i jako strážce vzorové jednotky (etalonu) hmotnosti. Uchovával jednu libru, která sloužila jako vzor pro celé francouzské království. Jako jedna z mála věcí, které tuto templářskou činnost dokládají, se uchoval zápis, kdy vrchní vážný Rouenu požaduje, aby mohl poměřit libru váhy ze svého města se vzorovou librou z Templu.

Templáři deponovali i řadu jiných cenných věcí a jako církevní instituce fungovali velice spolehlivě, čímž jednoznačně navazovali i na svoji spolehlivost bankovní.

Je jen škoda, že se lze jen těžce dopídit dalších dokladů o systému obchodního zabezpečení měr a vah tímto církevním řádem v podstatě v celoevropském rozsahu. Jak známo, úspěch se neodpouští, a tak bohatství (byť založené na schopnostech, pracovitosti a spolehlivosti) bylo příčinou pádu templářů. Filip IV. nekompromisně obžaloval řád z činností neslučujících se s křesťanskou morálkou a pomocí pomluv a lží přivedl francouzské templáře do žalářů a na hořící hranice. Systém bankovníctví se však udržel, zvláště v italském peněžnictví.

Také principy moderního obchodu zavedené řádem zanechaly trvalé stopy, ale bohatství, znalosti a jiné záležitosti zmizely spolu s templáři. Kam? To dnes už zůstává v říši mýtů a bájí.



Obr. 2: Noční pohled na přístav v La Rochelle, odkud podle legendy odplula po černém pátku 13. října 1307, kdy byl zatčen poslední velmistr řádu Jakub Molay, flotila templářských lodí neznámo kam a neznámo s čím. (Foto autor)

HISTORIE STÁTNÍ METROLOGIE V ČESKÝCH ZEMÍCH – (Díl sedmý)

Ing. Zdeňka Pohořelá, Ing. Štěpán Mašek

Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví

Tento díl historie vývoje státní metrologie se věnuje období před platností stávajícího zákona o metrologii a k němu navazujících vyhlášek a končí v období rozdělení České a Slovenské federativní Republiky.

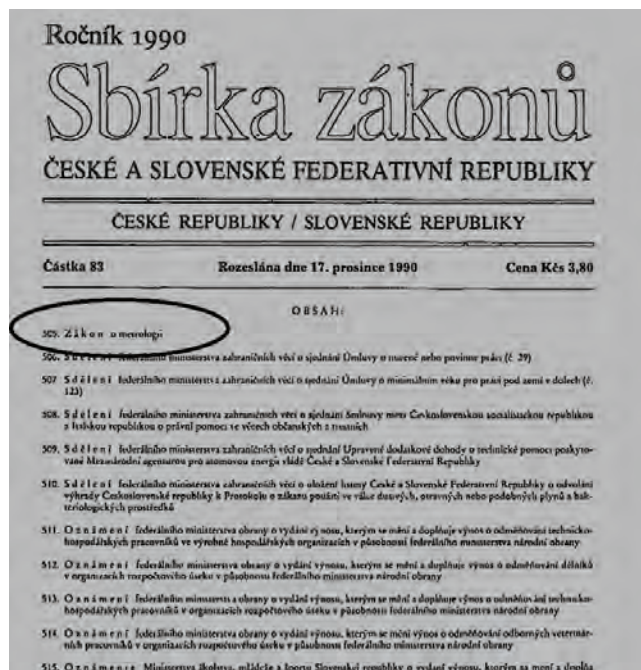
Celospolečenský vývoj v Československu v osmdesátých letech vyžadoval vcelku urychlené přizpůsobení metrologie novým podmínkám. V té době platný zákon č. 35/1962 Sb., o měrové službě, jen nepodstatně novelizovaný zákonem č. 57/1975 Sb., odpovídal svým pojetím i obsahem době svého vzniku. Od zákonů hospodářsky vyspělých států se odlišoval především předepsanou působností odvětvových ministerstev, přímým zasahováním do vnitropodnikové metrologie, ale také nedostatkem sankcí za porušování zákona. Tento stav se dostával do rozporu s někdejší koncepcí tzv. přestavby hospodářského mechanismu. Proto federální vláda rozhodla o vypracování nového zákona o metrologii, jehož cílem byla moderní právní úprava odpovídající aktuálním metrologickým potřebám hospodářství i potřebám mezinárodní spolupráce, zejména v Evropě. S přípravou zákona bylo započato již v osmdesátých letech minulého staletí.

Do té doby vycházela filozofie zabezpečování metrologických činností především z centralistického pojetí řízení a nezávislosti vztahů k vyspělým zemím, především západoevropským. Toto bylo nezbytné opustit a navrátit metrologii její původní poslání a zaměření. Mezi hlavní a dominantní zájmové oblasti metrologie nadále patřily a patří měřicí jednotky, měřidla, měřicí metody a péče o subjekt metrologa. Tedy měnily se nikoliv zájmové oblasti, ale přístup k jejich zabezpečování a poloha participujících subjektů.

Návrh nového zákona o metrologii byl nejvyšším zákonodárným sborem schválen dne 16. 11. 1990 s nabytím účinnosti od 1. 2. 1991. Přijetím nového zákona bylo ukončeno desetileté období jeho tvorby. Nový zákon o metrologii byl pochopitelně doplněn prováděcí vyhláškou FÚNM č. 69/1991 Sb., kterou se prováděl zákon o metrologii.

Vydání nového zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii

Za základ předkládaného návrhu sloužil vzorový „Zákon o metrologii“ vydaný jako mezinárodní dokument č. 1 doporučující povahy vládní Mezinárodní organizací pro legální metrologii (OIML). Předkládaný návrh vycházel z uvedeného dokumentu ve všech hlavních metrologických odborných požadavcích, jakými jsou např. způsob stanovení závazných měřicích jednotek, státní metrologická kontrola a její druhy, kritéria pro výběr měřidel stanovených k povinnému ověřování, registrace výrobců a opravců měřidel, sankce. Zároveň bylo ovšem nutné zmíněné instituty transformovat do našeho právního řádu, popřípadě je též doplnit o vhodné prvky z platné právní úpravy jiných členských států OIML, které vzorový zákon neobsahuje.



Obř. 1: Uveřejnění zákona o metrologii ve Sbírce zákonů ČSFR

Ve srovnání s původní právní úpravou vplynuly v předkládaném návrhu zákona tyto hlavní rozdíly:

- a) **základní měřicí jednotky** již nebyly stanoveny zákonem, ale státní technickou normou v zájmu pružné realizace změn mezinárodní soustavy jednotek SI; tato úprava byla změněna zákonem č. 119/2000 Sb., kdy byly jednotky opět do zákona doplněny,
- b) **tradiční metrologické instituty se obsahově i terminologicky přizpůsobily v té době aktuálním trendům v metrologii.** V zákoně jsou jmenovitě kromě tehdy Federálního úřadu pro normalizaci a metrologii (FÚNM) uvedeny další dvě nejvýznamnější organizace státní metrologie a to Československý metrologický ústav (ČSMÚ) a Státní metrologický inspektorát (SMI).

FÚNM - byl ústředním orgánem státní správy České a Slovenské Federativní Republiky pro oblast metrologie. Jeho základní úkoly byly zřejmě z původní právní úpravy, ve kterých úkoly v oblasti metrologie úřadu byly vymezeny v § 13:

§ 13

Federální úřad pro normalizaci a měření

- (1) Úřad je ústředním orgánem státní správy České a Slovenské Federativní Republiky pro oblast metrologie. Úřad řídí jeho předseda jmenovaný vládou České a Slovenské Federativní Republiky.
- (2) V oblasti metrologie Úřad
 - a) stanoví program státní metrologie a zabezpečuje jeho realizaci;

- b) zastupuje Českou a Slovenskou Federativní Republiku v mezinárodních metrologických orgánech a organizacích, zajišťuje úkoly vyplývající z tohoto členství a koordinuje účast orgánů a organizací na plnění těchto úkolů i úkolů vyplývajících z mezinárodních smluv;
- c) akredituje, popřípadě autorizuje organizace k výkonům v oblasti státní metrologie a úředního měření a kalibrační služby;
- d) provádí registraci organizací, které vyrábějí, opravují, popřípadě provádějí montáž měřidel;
- e) provádí kontrolu činnosti metrologických orgánů;
- f) je oprávněn kontrolovat v organizacích dodržování povinností stanovených tímto zákonem, včetně dávkovacích zařízení baleného zboží pro obchodní účely, popřípadě podmínek pro certifikaci předmětu jejich činnosti;
- g) poskytuje metrologické expertizy; vydává osvědčení o odborné způsobilosti metrologických pracovníků; vydává metodické pokyny, jimiž usměrňuje metrologii v organizacích;
- h) zveřejňuje ve Věstníku Federálního úřadu pro normalizaci a měření zejména vyhlášení státních metrologických středisek, organizací pro úřední měření a středisek kalibrační služby v organizacích, dále státních etalonů, československých referenčních materiálů, schválených typů měřidel a seznamů stanovených měřidel;
- i) plní úkoly podle zvláštních předpisů.

ČSMÚ – byl hlavním odborným orgánem státní metrologie, zřízený Úřadem, který statutem upravoval jeho činnost. Základním posláním ČSMÚ byl metrologický výzkum a uchovávání státních a ostatních primárních etalonů včetně přenosu hodnot měřících jednotek na sekundární etalony.

SMI – byl hlavním výkonným orgánem státní metrologie, zřízený Úřadem, který statutem upravoval jeho činnost. Základním posláním SMI bylo uchovávání sekundárních etalonů nejvyšších řádů a výkon státní metrologické kontroly měřidel včetně státního metrologického dozoru v organizacích.

- c) zanikla působnost odvětvových ústředních orgánů v metrologii, pro kterou již nebyly předpoklady a povinnosti organizací se omezily na ochranu veřejných zájmů;
- d) došlo k úpravě práv a povinností právnických a fyzických osob oprávněných k podnikatelské činnosti klasifikovaných jako „organizace“;
- e) byl zaveden **institut státního metrologického střediska (SMS)** zahrnující dosavadní pověřené organizace různých stupňů. Tyto organizace FÚNM autorizoval k provádění specifikovaných úkonů v oblasti státní metrologie, zejména státní metrologickou kontrolu měřidel a uchovávání etalonů.
- f) zcela nově byl zaveden **institut střediska kalibrační služby (SKS)**. Tyto organizace FÚNM akreditoval na základě jejich žádosti k poskytování metrologických služeb pro jiné organizace a přidělil jim kalibrační značku. Předmětem akreditace byly metrologické výkony, které nebyly zákonem vyhrazeny jiným subjektům. SKS byla zároveň využita jako zdroj výrazných úspor k plnému využití drahých etalonážních zařízení;

- g) **za porušování základních povinností stanovených zákonem** byly zavedeny již delší dobu požadované **pokuty**.

Ve srovnání s do té doby platnou právní úpravou bylo třeba, aby nový zákon reflektoval následující specifika: zavedení institutu státního metrologického střediska a institutu střediska kalibrační služby; úprava práv a povinností právnických osob a fyzických osob oprávněných k podnikatelské činnosti klasifikovaných jako „organizace“; vztahu k metrologii.

Počínaje 1. 1. 1991 se tehdejší Československý metrologický ústav rozdělil na dvě samostatné organizace řízené Úřadem. Základním odborným orgánem zůstal i nadále ČSMÚ se sídlem v Bratislavě a výkonným orgánem byl SMI se sídlem v Brně. Důvod výše uvedeného rozdělení spočíval především v rozdílných činnostech obou organizací, jakož i potřebě efektivnějšího působení těchto institucí v podmínkách tržního hospodářství. Rozdělení orgánů státní metrologie odpovídalo i obdobnému řešení v řadě západoevropských zemí. Tradiční metrologické instituty se obsahově i terminologicky přizpůsobovaly aktuálním světovým trendům.

FÚNM musel řešit celou řadu dalších problémů, např. systémové záležitosti týkající se státních etalonů, metrologické informatiky, výběru stanovených měřidel, metrologických předpisů, kvalifikace metrologů, atd. FÚNM v této době začíná řešit i problematiku akreditace a spolu s tím i otázky odstraňování technických překážek obchodu v celoevropském rozsahu. Z toho vyplynula potřeba přizpůsobit československou soustavu zkušeben a metrologických laboratoří tak, aby odpovídala kritériím, která podmiňovala vzájemné uznávání výsledků zkoušek. V té době bylo zahájeno budování akreditačního systému, jehož cílem byla plná kompatibilita se systémy fungujícími v západoevropských zemích a ve světě. Systém byl založen na respektování požadavků obsažených v normách EN řady 45 000, dále směrnice ISO/IEC č. 38, 42, 43, 49, 54, 55. Metrologická veřejnost byla průběžně s touto problematikou detailně seznamována formou přednášek, seminářů a školení. Zásady a přístupy akreditačního systému se plně projeví již v roce 1991 a to nejdříve v úseku státní metrologie – autorizací státních metrologických středisek a autorizací středisek kalibrační služby. Při aplikaci akreditačních přístupů se vycházelo z premisy principu dobrovolnosti, který vycházel zejména z technickoekonomických potřeb jednotlivých zúčastněných subjektů a zároveň respektoval aktuální potřeby státu.

V souvislosti s rozdělením ČSFR v roce 1993 na dvě republiky a současně se zánikem federálních orgánů státní správy došlo i k úpravě kompetencí v oblasti řízení technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví a to na základě zákona ČNR č. 20/1993 Sb. Následnickými organizacemi se stalo Ministerstvo hospodářství (později Ministerstvo průmyslu a obchodu), Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Český metrologický institut a Český institut pro akreditaci.

Ve zmíněném období byla Česká republika postavena před rozhodnutí jak řešit problematiku státní etalonáže a legální metrologie. Po zvážení všech aspektů bylo rozhodnuto o výstavbě zcela nové základny státní etalonáže, která měla nahradit na Slovensku ponechané státní etalony. Státní

metrologii v technické i výkonné oblasti začal zajišťovat Český metrologický institut. V souvislosti s tím vznikla nutnost vybudovat základnu primární etalonáže a zabezpečit kontinuitu v ověřování stanovených měřidel a kalibraci etalonů, což spadlo do gesce ČMI. Na vlastní realizaci tohoto záměru se kromě ČMI podílelo mnoho zahraničních pracovišť, českých institucí a také podniků domácího průmyslu.

Stanovená měřidla

Do roku 1979 byla vybraná provozní měřidla stanovena k povinnému ověřování formou vyhlášek. Z nich lze uvést následující vyhlášky týkající se stanovených měřidel: Vyhláška č. 36/1962, Vyhláška č. 61/1963, Vyhláška č. 102/1967 a Vyhláška č. 59/1979.

Od roku 1988 tyto vyhlášky nahradily výnosy ÚNM (Úřad pro normalizaci a měření), později výnosy FÚNM (Federální úřad pro normalizaci a měření). Z tohoto období uvádíme Výnos ÚNM č. 501/1988 a Výnos FÚNM č. 502/1989.

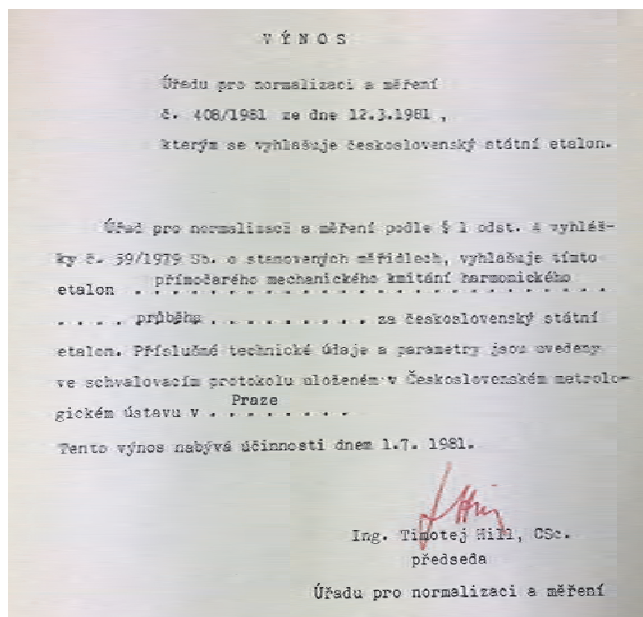
Po roce 1989 tyto výnosy nahradily výměry Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, které se téměř každoročně aktualizovaly: M-101/91 z 21. 10. 1991, M-102/93 z 19. 10. 1993, M-103/94 z 14. 10. 1994, M-104/95 z 30. 9. 1995, M-106/97 ze 7. 10. 1997, M-107/98 z 15. 10. 1998 a M-109/99 z 6. 10. 1999.

Na půdoryse posledního výměru M-109/99 pak vznikla Vyhláška č. 263/2000, kterou byla stanovena měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu a posléze Vyhláška č. 345/2002, regulující měřidla s některými úpravami dodnes.

Zahraněční spolupráce

ČSFR se aktivně podílela na spolupráci se dvěma nejvýznamnějšími metrologickými organizacemi, kterými jsou OIML (Mezinárodní organizace pro legální metrologii) a BIPM (Mezinárodní úřad pro váhy a míry). Kromě výše uvedených institucí nabývala značné důležitosti i spolupráce s WECC (Západoevropské kalibrační sdružení) a WELAC (Západoevropské sdružení akreditovaných laboratoří) ad. orgány a institucemi.

V roce 1993 byl statutárně upraven vztah České republiky k mezinárodním organizacím – BIPM a OIML a bylo oficiálně potvrzeno nástupnictví České republiky v těchto



Obr. 2: Příklad Výnosu ÚNM

organizacích. Kromě toho Česká republika navázala spolupráci s regionálními metrologickými orgány jako je WELMEC a EUROMET.

Závěr

Přijetí nového zákona o metrologii v roce 1990 bylo jakýmsi historickým předělem, neboť zákon nejen reflektoval již v té době překonané potřeby státní metrologie, tak i historické souvislosti spojené s transformací národního hospodářství a následného rozdělení státu. Nový zákon, zpracovaný podle doporučení mezinárodních metrologických autorit, byl sice několikrát novelizován, avšak jeho základní principy si udržely aktuálnost 30 let.

Literatura:

- [1] Metrologie její vývoj a současnost, Dr. Ing. Václav Šindelář, CSc. A Ing. Zdeněk Tůma (2002)
- [2] Přednáška předsedy FÚNMZ Ing. Vladimíra Sulíka, Kladno, (27. 11. 1990)
- [3] Sbirka zákonů (1991)
- [4] Wikipedie

Kovová pásma měřická, taxametry, stroje na měření velikosti plochy usní, odměrné laboratorní sklo, butyrometry, průtočná měřidla na benzín, olej, mléko, moštoměry, cukroměry, měřící transformátory, zvěrolékařské teploměry,...

Vyhláška č. 61/1963 Sb., o zajišťování správnosti měřidel a měření

Sílniční rychloměry

Výnos ÚNM č. 425 (20.5.1988)

Optické radiometry, zvukoměry, pásmové filtry, audiometry a měřidla ionizujícího záření

Výnos ÚNM č. 502 (1.6.1989)

Oční tonometry, přístroje na měření tlaku krve

Výměr FÚNM č. 101/1991 (12.1.1991)

Obr. 3: Graf vývoje regulace měřidel státem – pokračování

NOVÉ DEFINICE ZÁKLADNÍCH JEDNOTEK SOUSTAVY SI

RNDr. Pavel Klenovský

Český metrologický institut

Redefinice základních jednotek SI byla klíčovým bodem 26. zasedání Generální konference pro váhy a míry (CGPM), které se uskutečnilo v Paříži, Francie, ve dnech 13. až 16. 11. 2018; jednání se zúčastnila česká vládní delegace stanovená usnesením vlády č. 706/2018, jejímž členem byl mj. autor tohoto článku. Generální konference je nejvyšším orgánem mezivládní dohody Metrická konvence, ke které Československo přistoupilo v roce 1922. Česká republika byla na základě oficiální žádosti přijata za plnoprávného člena v roce 1993 jako nástupnický stát České a Slovenské Federativní Republiky. Metrická konvence má v současné době 60 členských států, včetně států Evropské unie, a 42 přidružených států a ekonomik.

Úvodem pár informací ze zasedání CGPM. Prezident CIPM (Dr. B. D. Inglis) přednesl zprávu o činnosti CIPM od 25. CGPM. Za poslední 4 roky přibylo 5 nových členských států (Litva, UAE, Slovinsko, Černá Hora a Ukrajina) a 6 nových přidružených členů (Azerbajdžán, Katar, Etiopie, Tanzanie, Kuvajt a Uzbekistán). Od poslední CGPM byla vyloučena Dominikánská republika (2015) a z přidružených zemí Jemen (2018). Ve zprávě prezidenta je také podrobněji popsán dosažený pokrok v jednotlivých technických oblastech činnosti BIPM, jako je hmotnost, wattové váhy, čas, elektřina, ionizující záření a chemie. V neposlední řadě zmínil finanční a administrativní záležitosti.

Ředitel BIPM následně představil program práce pro období 2020-2023. Program je podrobně popsán v materiálu, který mají účastníci cesty k dispozici a který byl distribuován již před zasedáním. Hovořil o hmotnosti – wattové váhy, čase, elektřině, ionizujícím záření (včetně LINACu /linear accelerator používaný v dosimetrii ve zdravotnictví/) – DOSEO (sdružení pro výzkum v dosimetrii) a o chemii (včetně klimatických změn, forenzní analýzy atd.). U každé oblasti zmínil hlavní aktivity, návrh práce pro další období a zejména pak nároky na finance a pracovníky. Dále by se měla rozvíjet mezinárodní spolupráce – zastupování komunity NMI a spolupráce s dalšími organizacemi jako ISO, ILAC, CIE, OIML atd. BIPM spolupracuje na přípravě různých workshopů a v neposlední řadě pokračuje v práci na databázi klíčových porovnaní KCDB 2.0. V posledních letech se v rámci činnosti BIPM rozšiřuje prvek pomoci rozvíjejícím se zemím (capacity building and knowledge transfer – CBKT), řada NMI posílá své pracovníky na stáž do BIPM, čímž se zároveň zvyšuje jeho kapacita.

Postupně byly v rámci jednání podány zprávy předsedu CC (Consultative Committee), byl k nim vytvořen i poster a zprávy byly doprovázeny vždy jednou speciální odbornou přednáškou – řada z nich má přímý vztah i k redefinici jednotek:

CCL (The Consultative Committee for Length – **délka**) – má 3 WG a jednu společnou WG s CCTF (**čas a frekvence**),

proběhlo 9 klíčových porovnaní, výsledky jsou v KCDB. S návrhem usnesení o revizi praktického návodu pro metr a vývoj nových etalonů optických frekvencí nikdo neměl problém.

CCM (The Consultative Committee for Mass and Related Quantities – **hmotnost**) – má 13 WG (pracovních skupin), proběhlo a stále probíhá mnoho klíčových porovnaní. Velké množství práce je teď věnováno redefinici jednotky kg, která přestává být jedinou představovanou artefaktem.

CCTF (The Consultative Committee for Time and Frequency – **čas a frekvence**) – byla podána informace o pracích, které povedou k redefinici sekundy na základě optických hodin na příští či přespříští CGPM.

CCEM (The Consultative Committee for Electricity and Magnetism – **elektřina a magnetismus**) – za poslední období proběhlo na 20 klíčových a doplňkových porovnaní v této oblasti. Společně s CCM pracovali na wattových váhách.

CCT (The Consultative Committee for Thermometry – **teplota**) – má 9 WG (informace jsou na webu BIPM) stejně jako řadu klíčových porovnaní. V poslední době se práce soustředily hlavně na redefinici jednotky kelvin pomocí Boltzmannovy konstanty.

CCPR (The Consultative Committee for Photometry and Radiometry – **fotometrie a radiometrie**) – značná část práce věnována studiu oka v souvislosti s viděním světla a barev. Další práce se soustředí na světelný průmysl – snížení spotřeby energie při osvětlení.

CCRI (The Consultative Committee for Ionizing Radiation – **ionizující záření**) – značná část práce je věnována radioterapii a s tím souvisejícím novým možnostem využití urychlovače v rámci DOSEO.

CCQM (The Consultative Committee for Amount of Substance: Metrology in Chemistry – **metrologie v chemii**) – v této oblasti je složité definovat, co se vlastně měří, metody měření a také nejistoty měření. Pracují na projektech týkajících se zdraví, klimatických změn apod., v poslední době se soustřeďují zejména na organizování porovnaní mezi členskými NMI.

CCAUV (The Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration – **akustika, ultrazvuk a vibrace**) – 3 klíčová porovnaní jsou již publikována, 1 probíhá a 1 je plánováno.

CCU (The Consultative Committee for Units – **jednotky**) – většina práce této skupiny se v podstatě odrazila v přijatém usnesení 1.

Dále bylo poslední zasedání věnováno hlasování o unesení (viz <https://www.bipm.org/utis/common/pdf/CGPM-2018/26th-CGPM-Resolutions.pdf>):

Hlasování o usnesení **1** (o redefinici Mezinárodní soustavy jednotek SI): na slavnostním otevřeném zasedání dne 16. 11.: všichni pro – usnesení jednomyslně přijato.

Hlasování o usnesení **2** (o definici časových stupnic): dosud neexistovaly ucelené definice 2 klíčových časových stupnic TAI (Mezinárodní atomový čas) a UTC (Univerzální

koordinovaný čas) jako plnohodnotná usnesení konference CGPM, všichni pro – usnesení přijato.

Hlasování o usnesení **3** (o cílech BIPM): všichni pro – usnesení přijato.

Hlasování o usnesení **4** (dotace BIPM pro léta 2020–2023): žádný hlas proti, 5 se zdrželo hlasování (Rakousko, Španělsko, Itálie, Slovensko a ČR v souladu s UV č. 706/2018), všichni ostatní pro – usnesení přijato. Výše základní dotace na roky 2020 – 2023:

12 356 526 euro v roce 2020

12 480 091 euro v roce 2021

12 606 892 euro v roce 2022

12 730 941 euro v roce 2023

Hlasování o usnesení **5** (o dluzích členských států na příspěvku a o procesu vyloučení): všichni pro – usnesení přijato.

Hlavní část jednání posledního dne zasedání byla věnována schválení zásadní redefinice čtyř základních jednotek SI (návrh usnesení **1**). Týká se to zejména redefinice kilogramu na základě fyzikální konstanty. Další redefinice se týkají ampéru, kelvinu a molu. U ostatních základních jednotek bylo provedeno pouze zpřesnění existujících definic. V předstihu byla provedena aktualizace databáze fyzikálních konstant a jejich nejistot (CODATA 2018). Předložený návrh usnesení **1** je výsledkem mnohaleté práce expertních komisí a jednotlivých metrologů. Na dalších konferencích se očekává schválení redefinice jednotky času – sekundy na základě optických hodin (místo současné definice na bázi přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia).

Přípravě a schvalování redefinice byla věnována poměrně rozsáhlá pozornost ze strany světových médií, na zasedání se natáčelo speciální video, do kterého byl pozván i delegát ČR (viz **obr. 1**). Pro orgány Metrické konvence to byl docela náročný kontroverzní úkol: redefinice musela být samozřejmě navržena tak, aby nedošlo k výraznější změně hodnot jednotek (reálný dopad do praxe zanedbatelný), ale zároveň chtěly dosáhnout maximálního mediálního ohlasu. A to je jistě chvályhodné, protože to může obrátit pozornost veřejnosti na metrologii jako celek v tom smyslu, aby si občané uvědomili, že metrologie a měření jsou v jejich životech prakticky všudypřítomné. Jistě k tomu přispěla i osobní účast a přednášky 2 laureátů Nobelovy ceny za fyziku, Williama D. Phillipse (1997 – NIST USA) a Klause von Klitzinga (1985 – Max Planck Institute for Solid State Research, SRN), což na poslední, otevřený den zasedání přilákalo na konferenci mj. i značný počet studentů z pařížských vysokých škol. Dr. Phillips se neobával nazvat stav, kdy u jedné jednotky (kg) dodnes žijeme s prakticky 150 let starou definicí, za ostudný.

Níže uvedené snímky dokumentují schvalovací proces z pozice ČR.

Nyní blíže k samotné redefinici základních jednotek SI. Mezinárodní soustava jednotek SI (Système international d'unités) je nejdůležitější a jedinou celosvětově používanou soustavou jednotek, která je zásadní pro všechny obory lidské činnosti od obchodu přes průmysl až po vědu



Obř. 1: Snímek delegáta ČR ve speciálním videu o redefinici (natočeno zástupci NIST USA - dostupné na <https://www.youtube.com/thebipm>)



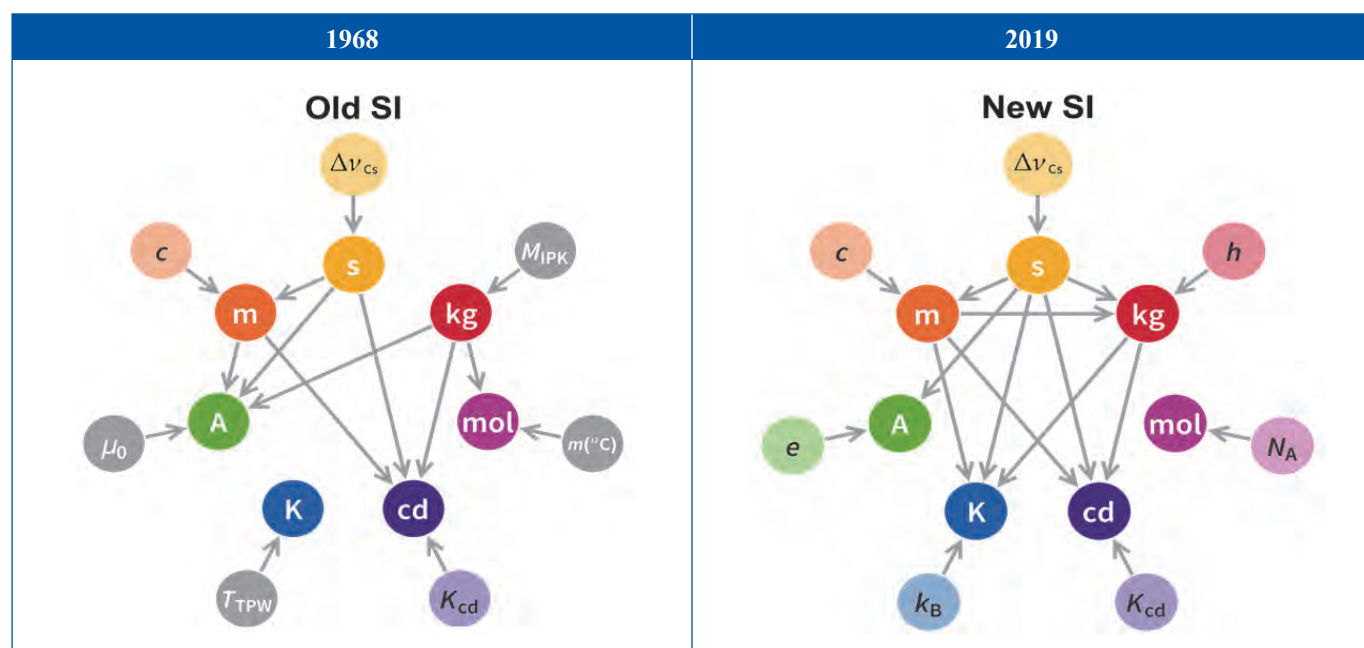
Obř. 2: Pohled do sálu bezprostředně po jednomyslném schválení redefinice

a výzkum. Její vytvoření je základním výsledkem mezinárodní smlouvy, známé pod názvem Metrická konvence. Jejím jádrem je sedm základních jednotek a to **sekunda, metr, kilogram, ampér, kelvin, mol a kandela**. Změny v soustavě SI jsou přijímány na zasedáních Generální konference pro váhy a míry (Conférence générale des poids et mesures, CGPM). Aktuálně definice základních jednotek SI prochází největší změnou ve své historii. **Na právě proběhlém 26. CGPM ve Versailles byla odhlasována redefinice čtyř základních jednotek SI (kilogramu, ampéru, kelvinu a molu) a nové formulace zbývajících tří (sekundy, metru a kandel) s účinností od 20. května 2019.** Nově jsou všechny základní jednotky pevně navázány na vybrané fyzikální a technické konstanty, jejichž velikosti jsou touto dohodou fixovány. Jedná se o následující konstanty:

- frekvence záření, které vzniká při přechodu atomu cesia-133 mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu $\Delta\nu_{Cs}$,
- rychlost světla ve vakuu c ,
- Planckova konstanta h ,
- elementární náboj e ,
- Boltzmannova konstanta k ,
- Avogadrova konstanta N_A ,
- světelná účinnost monochromatického záření o frekvenci 540 THz K_{cd} .

Původní i nově schválené definice jsou uvedeny v následující tabulce:

Jednotka	Stávající definice	Navrhovaná definice (s účinností od 20. května 2019)
Sekunda	Sekunda je doba trvání 9 192 631 770 period záření odpovídajícího přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia 133.	Sekunda, symbol s, je SI-jednotka času. Je definována fixováním číselné hodnoty cesiové frekvence $\Delta\nu_{Cs}$, přechodové frekvence atomu cesia 133 v klidovém stavu při přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu, rovné 9 192 631 770, je-li vyjádřena v jednotce Hz, jež je rovna s ⁻¹ .
Metr	Metr je vzdálenost, kterou urazí světlo ve vakuu za dobu 1/299 792 458 sekundy.	Metr, symbol m, je SI-jednotka délky. Je definována fixováním číselné hodnoty rychlosti světla ve vakuu c rovné 299 792 458, je-li vyjádřena v jednotkách m·s ⁻¹ , kde sekunda je definována na základě $\Delta\nu_{Cs}$.
Kilogram	Kilogram je jednotka hmotnosti; je rovna hmotnosti mezinárodního prototypu kilogramu.	Kilogram, symbol kg, je SI-jednotka hmotnosti. Je definována fixováním číselné hodnoty Planckovy konstanty h rovné 6,626 070 15 × 10 ⁻³⁴ , je-li vyjádřena v jednotkách J·s, což se rovná kg·m ² ·s ⁻¹ , kde metr a sekunda jsou definovány na základě c a $\Delta\nu_{Cs}$.
Ampér	Ampér je stálý elektrický proud, který protéká dvěma rovnoběžnými nekonečně dlouhými vodiči o zanedbatelném průřezu umístěnými ve vakuu 1 m od sebe, jestliže mezi vodiči působí magnetická síla o velikosti 2×10 ⁻⁷ newtonu na jeden metr délky vodiče.	Ampér, symbol A, je SI-jednotka elektrického proudu. Je definována fixováním číselné hodnoty elementárního náboje e rovné 1,602 176 634 × 10 ⁻¹⁹ , je-li vyjádřena v jednotce C, což se rovná A·s, kde sekunda je definována na základě $\Delta\nu_{Cs}$.
Kelvin	Kelvin, jednotka termodynamické teploty, je rovna zlomku 1/273,16 termodynamické teploty trojného bodu vody.	Kelvin, symbol K, je SI-jednotka termodynamické teploty. Je definována fixováním číselné hodnoty Boltzmannovy konstanty k rovné 1,380 649 × 10 ⁻²³ , je-li vyjádřena v jednotkách J·K ⁻¹ , což se rovná kg·m ² ·s ⁻² ·K ⁻¹ , kde kilogram, metr a sekunda jsou definovány na základě h, c a $\Delta\nu_{Cs}$.
Mol	Mol je látkové množství systému, který obsahuje stejný počet elementárních entit, kolik je atomů v 0,012 kg uhlíku ¹² C.	Mol, symbol mol, je SI-jednotka látkového množství. Jeden mol obsahuje přesně 6,022 140 76 × 10 ²³ elementárních entit. Toto číslo je fixovaná číselná hodnota Avogadrovy konstanty, N _A , je-li vyjádřena v jednotce mol ⁻¹ a je nazývána Avogadrovo číslo. Látkové množství, symbol n, systému je mírou počtu specifikovaných elementárních entit. Elementární entitou může být atom, molekula, iont, elektron nebo jakákoliv jiná částice či specifikovaná skupina částic.
Kandela	Kandela je svítivost zdroje, který vydává monochromatické záření o frekvenci 540×10 ¹² Hz, jehož intenzita v daném směru je 1/683 wattů na steradián.	Kandela, symbol cd, je SI-jednotka svítivosti v daném směru. Je definována fixováním číselné hodnoty světelné účinnosti monochromatického záření o frekvenci 540 × 10 ¹² Hz, K _{cd} , rovné 683, je-li vyjádřena v jednotkách lm·W ⁻¹ , což se rovná cd·sr·W ⁻¹ nebo cd·sr·kg ⁻¹ ·m ⁻² ·s ³ , kde kilogram, metr a sekunda jsou definovány na základě h, c a $\Delta\nu_{Cs}$.



Obr. 3: Grafické vyjádření rozdílu mezi starou a novou definicí základních jednotek

Delegát ČR se snažil získat další informace k praktické aplikaci redefinice u kilogramu i v jednáních mimo program:

NRC Kanada – v návaznosti na redefinici kg konzultoval delegát ČR s představiteli NRC (B. Wood, R. Green), který má dnes pravděpodobně nejlepší wattové váhy na světě, možnost kalibrace přenosového etalonu ČMI – závaží 1 kg z austenitické oceli. Bylo sděleno, že je to poněkud předčasné, protože kalibračním má podle rozhodnutí CCM předcházet porovnání všech NMI s nějakou realizací nové definice (wattové váhy – NIST, NRC, METAS, BIPM, Avogadro – PTB, NMIJ) plánované na II. polovinu 2019. NRC se prý již intenzivně porovnával s NIST USA na cca 60 závažích (slíbili k tomu zaslat informace) a je schopen dát nejistotu $3 \cdot 10^{-8}$.

R. Schwartz (PTB SRN) – vyjádřil se poněkud pesimisticky o rychlém náběhu kalibrací na základě nové definice, přechodné období může trvat až 5 let: wattové váhy METAS a BIPM dosahují zatím jen nedostatečné nejistoty kolem 10^{-7} ;

co když se přitom zjistí odchylka např. 50 μg od původní kalibrace podle staré definice atd. Na dotaz, zda PTB s Avogadro realizací na bázi křemíkové koule je schopen kalibrovat i závaží z austenitické oceli, odpověděl, že ano, ale že ty kalibrace nechtějí moc provádět (?).

Další informace lze najít přímo na webu Českého metrologického institutu (www.cmi.cz), příspěvkové organizace zřízené Ministerstvem průmyslu a obchodu nebo přímo na stránkách BIPM (<https://www.bipm.org>). Odvozené jednotky SI bude možné definovat nejenom jako dosud pomocí jednotek základních, ale i přímo pomocí výše uvedených definičních konstant. Ministerstvo průmyslu a obchodu podpořilo přípravu na realizaci nově definovaných jednotek SI již v r. 2018 pomocí Programu redefinice jednotek Českého metrologického institutu ve výši třiceti milionů korun a předpokládá se, že aktivní podpora bude pokračovat i v roce 2019 tak, aby byla zajištěna k termínu účinnosti hladká realizace přechodu na nové definice v rámci České republiky.



VYHODNOCENÍ PROGRAMU ROZVOJE METROLOGIE 2018

Ing. Eliška Machová

Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví

V Programu rozvoje metrologie 2018 bylo zařazeno celkem 26 úkolů. Z tohoto počtu řešil Český metrologický institut (ČMI) 4 úkoly, ostatní subjekty zbývající 22 úkoly. Z nich přidružené laboratoře ČMI, Výzkumný ústav geografický, topografický a kartografický, v.v.i., a Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR, v.v.i., řešily 4 úkoly.

Všechny úkoly byly v souladu s pravidly pro ukončování úkolů PRM a jejich zadáním ukončeny závěrečnými oponenturami, při nichž bylo konstatováno jejich splnění.

První část článku informuje o úkolech, které řešil Český metrologický institut, v druhé části jsou popsány výstupy úkolů ostatních řešitelů.

V roce 2018 byly řešeny následující úkoly:

A) Úkoly ČMI

- II/1/18 Uchovávání státních etalonů
- V/1/18 Státní metrologický dozor
- VI/1/18 Zabezpečení mezinárodní spolupráce v oblasti metrologie
- VII/8/18 Stanovení podmínek a zkoušek elektronických měřicích přístrojů při posuzování shody

B) Úkoly řešené ostatními subjekty

- II/2/18 Uchovávání státního etalonu času a frekvence
- II/3/18 Uchovávání státního etalonu velkých délek
- II/4/18 Uchovávání a rozvoj státního etalonu tíhového zrychlení

- III/13/18 Rozvoj etalonáže času a frekvence
- III/14/18 Charakterizace mnohooťvorových clon etalonu jemného vakua
- VII/1/18 Nové kalibrační postupy
- VII/2/18 Revize kalibračních postupů
- VII/3/18 Metodiky provozních měření
- VII/4/18 Podklad pro průběžné sjednocování výpočtu CMC v akreditovaných kalibračních laboratořích v oboru objem
- VII/5/18 Podklad pro průběžné sjednocování výpočtu CMC v akreditovaných kalibračních laboratořích v oboru tlak
- VII/6/18 Metrologie v chemii – stručný průvodce
- VII/7/18 Nejistoty měření ukazatelů sedimentů včetně vzorkování
- VII/18/18 Revize kalibračních postupů pro váhy s neautomatickou činností a vytvoření interaktivního formuláře pro zpracování výsledků a vyjádření nejistot při kalibracích vah s neautomatickou činností
- VII/20/18 Informační materiál pro použití vah s neautomatickou činností v obchodním styku a v průmyslových aplikacích
- VII/21/18 Překlad dokumentů WELMEC a OIML
- VIII/1/18 Zlepšení přesnosti kalibrace systémů přenosu času na nesymetrických optických trasách
- VIII/2/18 Rozvoj laboratoře přesného času a frekvence na FEL ČVUT
- VIII/3/18 Metrologické charakteristiky psychoaktivních látek (NPS)
- VIII/6/18 Dělič pro měření velmi rychlých impulzních napětí do 100 kV

- VIII/9/18 Posouzení použitelnosti měřidel bodové rychlosti proudu využívající elektromagnetického principu měření
- VIII/16/18 Kapacitní etalony s keramickým dielektrikem VIII/18/18 Případová studie způsobu přípravy matricového kandidátského RM (půdy, kaly) metodou přidavku (spikování) sledovaných ukazatelů. Ověření vhodnosti přípravy RM tímto způsobem

Výsledky a výstupy řešení jednotlivých úkolů:

A) Úkoly řešené Českým metrologickým institutem

č. II/1/18 Uchovávaní státních etalonů

Základním cílem úkolu byly práce spojené s uchováváním a pravidelným udržováním požadovaných metrologických vlastností 55 státních etalonů ČR provozovaných v ČMI s cílem zajištění jejich požadované funkčnosti a využitelnosti pro navazování měřidel nižších řádů.

Seznam všech státních etalonů je uveden na webových stránkách ÚNMZ v části metrologie v rubrice metrologický systém (<http://www.unmz.cz/urad/statni-etalony-ceske-republiky>).

č. V/1/18 Státní metrologický dozor

Náplní úkolu bylo zabezpečení výkonu státního metrologického dozoru u autorizovaných a registrovaných subjektů a ostatních uživatelů stanovených měřidel nad dodržováním povinností stanovených zákonem o metrologii, včetně řešení případů nedodržení zákona o metrologii, postoupených ČMI jinými kontrolními orgány a stížností občanů.

Tabulka jednotlivých dozorových akcí

Druh SMD	Počet dozorů realizovaných ČMI
Autorizovaná metrologická střediska	45
Úřední měřiči	14
Registrované subjekty	6
Čerpací stanice PH	44
Silniční cisterny	10
Distribuce (prodejní jednotky)	83
Zdravotnictví	44
Neplánované dozory*	25
Celkem	386

* Dozory uvedené mezi neplánovanými nejsou započteny do výše uvedených dozorů dle kategorií.

č. VI/1/18 Zabezpečení mezinárodní spolupráce v oblasti metrologie

Jednalo se o komplexní úkol zabezpečující nezbytnou mezinárodní spolupráci v metrologii v zájmu ČR, která je v působnosti ČMI. Řešení úkolu navazovalo na požadavky Usnesení vlády ČR č. 1129/2016 (Koncepte rozvoje

národního metrologického systému České republiky pro období let 2017 – 2021) na zapojení českého metrologického systému do aktivní mezinárodní spolupráce s cílem dosažení vysoké technické úrovně a efektivního řešení potřeb českého hospodářství. Rozhodující část úkolů byla zabezpečena formou zahraničních služebních cest.

Úkol se týkal především prací v rámci sdružení EURAMET, Metrické konvence, OIML, WELMEC, DUNAMET, NCSLI, EA a ISO CASCO a zastoupení v mezinárodních komisích (CIE). Jednou z nejvýznamnějších mezinárodních akcí v roce 2018 bylo 26. zasedání Mezinárodní konference vah a měř (CGPM). Dále byla v jeho rámci koordinována účast laboratoří ČMI na projektech vyplývajících ze spolupráce s národními metrologickými instituty v rámci mezivládních dohod. Lze konstatovat splnění úkolu ve shodě s požadavky formulovanými v plánovacím listu.

č. VII/8/18 Stanovení podmínek a zkoušek elektronických měřicích přístrojů při posuzování shody

Hlavním cílem úkolu bylo podrobné stanovení podmínek a zkoušek pro posouzení shody v souladu se směrnicí 2014/32/EU (MID) pro elektronické měřicí přístroje (plynoměry, elektroměry k měření činné energie, měřidla tepla a měřicí systémy pro kontinuální a dynamické měření množství kapalin jiných než voda) v oblasti softwarového vybavení, a to včetně aplikace těchto měřidel v systémech „smart metering“. Výstupem úkolu je návrh na aktualizaci a doplnění příslušných kapitol příručky WELMEC 7.2 pro jednotlivé druhy měřidel, aby nedocházelo k rozdílným přístupům oznámených subjektů při posuzování shody. Po překladu vypracovaných textů do angličtiny a schválení na úrovni WELMEC budou texty zapracovány do nové revize příručky WELMEC 7.2.

B) Úkoly řešené ostatními subjekty

č. II/2/17 Uchovávaní státního etalonu času a frekvence, řešitel ÚFE AV ČR, v.v.i.

Náplň tohoto úkolu byla tvořena několika částmi. První je nepřetržitá fyzická aproximace sekundy TAI a s ní koherentních signálů. Sekunda TAI byla aproximována trváním sekundy UTC(TP) generované z hodin 5071A/001 v. č. 1227. Rozšířená nejistota v průměrovacím intervalu 1 den měla ve sledovaném období hodnotu $4,73 \cdot 10^{-14}$. Dále realizace národní časové stupnice UTC(TP) jako fyzické predikce času UTC. Národní časová stupnice UTC(TP) byla odvozována z realizace sekundy TAI. Světový čas UTC byl predikován s rozšířenou nejistotou 37 ns v predikčním intervalu 20 dnů. Bez pomoci frekvenčních korekcí byl udržován rozdíl mezi UTC a UTC(TP) s rezervou v doporučeném intervalu < 100 ns. Prostřednictvím UTC(TP) byla ve sledovaném období navazována pětice volně běžících atomových stupnic cesiových hodin operujících v ČR tak, aby mohly vstupovat do váženého průměru pro výpočet stupnice TAI. Byly dále prováděny analýzy časového transferu z/do laboratoře, byla změřena krátkodobá stabilita časových stupnic vytvářených cesiovými hodinami v ÚFE a CETIN, provedena recalibrace

etalonů a základních měřicích systémů laboratoře. Veškerá data a analýzy týkající se metrologických parametrů etalonu a jeho interního i externího navazování jsou uchovávány ve formě elektronické databáze. Laboratoř státního etalonu času se účastní klíčových porovnání BIPM a podílí se na řešení projektů EURAMET. Na časovou stupnici UTC(TP) se navazují všechna měření a kalibrace času a frekvence prováděné v ČR. NTP servery řízené vůči UTC(TP) zajišťují synchronizaci ČR v počítačových sítích. Ve spolupráci s BIPM jsou prostřednictvím UTC(TP) navazovány čtvery cesiové hodiny operující v ČR, které tak přispívají k vytváření mezinárodní atomové stupnice TAI (resp. UTC).

č. II/3/18 Uchovávání státního etalonu velkých délek ECM 110-13/08-041, řešitel VÚGTK, v.v.i.

Základním cílem úkolu bylo uchovávání a udržování metrologických parametrů státního etalonu (SE) délek 24 m až 1450 m, ev. č. ECM 110-13/08-041, kompletu složeného z délkové geodetické základny Košnice a elektronického dálkoměru Leica TCA 2003.

Náplní řešení v roce 2018 bylo zajištění metrologické návaznosti SE dle podmínek Rozhodnutí ÚNMZ č.j. 922/08/05 z 28. 05. 2008 o pověření VÚGTK uchováváním SE, realizace mezinárodního mezilaboratorního porovnávacího měření, jako nutné podmínky pro vyhlášení nového složení státního etalonu a potvrzení metrologických charakteristik etalonu. Dvoustranné porovnávací zkoušky v parametru velkých délek se uskutečnily v červnu 2018 na geodetické základně Nummela ve Finsku. Byla připravena dokumentace pro posouzení návrhu nového složení etalonu a jeho nových metrologických charakteristik ve Vědecké radě ČMI. Změnou etalonu se dosáhne zlepšení přesnosti měření.

Úkol je řešen pro splnění požadavků zákona o metrologii, tj. zajištění jednotnosti a správnosti měření a měřidel pro oblast velkých délek, zejména při výstavbě dálniční sítě a železničních koridorů na území ČR a v rámci integrace i v zemích EU.

č. I/4/18 Uchovávání a rozvoj státního etalonu tíhového zrychlení, řešitel VÚGTK, v.v.i.

Cílem úkolu byl rozvoj a uchovávání státního etalonu tíhového zrychlení, kterým je absolutní balistický gravimetr FG5 č. 215. Úkol sestával ze čtyř následujících dílčích úkolů:

- předložení CMC v rámci mezinárodního ujednání CIPM MRA pro měření tíhového zrychlení a kalibraci absolutních gravimetrů,
- příprava dokumentace ke změně SE týkající se zejména změny v měřicím a vyhodnocovacím systému absolutního gravimetru FG5-215,
- příprava dokumentace k rozšíření SE o gravimetr FG5X-251,
- zajištění účasti na porovnávacím měření absolutních gravimetrů.

Úkol byl řešen pro splnění požadavků zákona o metrologii, tj. zajištění jednotnosti a správnosti měření a měřidel pro oblast tíhového zrychlení. Řeší uchovávání etalonu a kvalitativní podmínky pro navazování vědeckých a technických

měřidel (relativních gravimetrů a supravodivého gravimetru) dle požadavků státní legislativy ČR a legislativy EU.

č. III/13/18 Rozvoj etalonáže času a frekvence, řešitel ÚFE AV ČR, v.v.i.

Předmětem řešení úkolu bylo využití čínského navigačního systému BeiDou pro časový transfer z/do Laboratoře Státního etalonu času a frekvence (LSEČF) a experimentální ověření tohoto časového transferu. Byla provedena teoretická analýza využití signálů BeiDou, vypracována metodika pro časový transfer s využitím signálů BeiDou, doplněno technické vybavení pro příjem těchto signálů a následně experimentální ověření vlastností tohoto časového transferu. Řešením projektu byly vytvořeny předpoklady k tomu, aby LSEČF byla schopna se rutinně navazovat s využitím signálů systému BeiDou, a zvýšení spolehlivosti a přesnosti navázání frekvence mezi LSEČF a partnerskými pracovišti.

č. III/14/18 Charakterizace mnohooťvorových clon etalonu jemného vakua, řešitel MFF UK

Náplní úkolu bylo experimentální určení závislosti vodivosti mnohooťvorových clon etalonu jemného vakua na tlaku. V rámci dílčích cílů úkolu byla provedena podrobná analýza parametrů geometrické a molekulární clony a navržen experimentální systém pro proměření vodivosti clon. Na základě provedené analýzy byly stanoveny metrologické charakteristiky clon použité v etalonu jemného vakua, upřesněna metrologická charakterizace etalonu jemného vakua jako celku a upřesněny podmínky proudění plynu v použitých mnohooťvorových clonách.

č. VII/1/18 Nové kalibrační postupy, řešitel ČMS

Náplní úkolu bylo vypracování kalibračního postupu pro megaohmmetry, který doplnil soustavu kalibračních postupů o další skupinu měřidel. Kalibrace měřidel mají zásadní vliv na kvalitu výrobních a kontrolních procesů a vypracované postupy přispívají ke zkvalitnění základního podkladu pro práci kalibračních laboratoří a kontrolních a měřicích pracovišť podnikové sféry.

č. VII/2/18 Revize kalibračních postupů, řešitel ČMS

V rámci řešení úkolu jsou kalibrační postupy uvedeny do souladu s platnými normami a doplněny o postupy stanovené nejistot se vzorovými příklady. Dále byl sjednocen jejich obsah i forma.

Jedná se o postupy pro následující skupiny měřidel:

- Dekádový odpor
- Termoelektrický článek
- Řetězce pro měření teplot termoelektrickými články
- Řetězec pro měření teplot s platinovými snímači

č. II/3/18 Metodiky provozních měření, řešitel ČMS

V rámci řešení úkolu bylo zpracováno 11 nových metodik.

Metodiky mají přímý vliv na kvalitu výrobních a kontrolních procesů v průmyslových a zdravotnických provozech. Vhodně doplňují a kompletují předpisové základny pro průmyslové aplikace.

č. VII/4/18 Podklad pro průběžné sjednocování výpočtu CMC v akreditovaných kalibračních laboratořích v oboru objem, řešitel ČIA, o.p.s.

Cílem úkolu bylo vypracovat podrobný návod pro zhodnocení všech příspěvků k nejistotě měření v oboru statický objem, sjednocující jednotlivé složky uvažované při rozpočtu nejistot a stanovování hodnoty CMC laboratoře. Sjednocený způsob výpočtu CMC výrazně zvyšuje porovnatelnost výkonu jednotlivých laboratoří v oboru statický objem.

č. VII/5/18 Podklad pro průběžné sjednocování výpočtu CMC v akreditovaných kalibračních laboratořích v oboru tlak, řešitel ČIA, o.p.s.

Cílem úkolu bylo vypracovat podrobný návod pro zhodnocení všech příspěvků k nejistotě měření v oboru tlak, sjednocující jednotlivé složky uvažované při rozpočtu nejistot a stanovování hodnoty CMC laboratoře. Sjednocený způsob výpočtu CMC výrazně zvyšuje porovnatelnost výkonu jednotlivých laboratoří v oboru tlak.

č. VII/6/18 Metrologie v chemii – stručný průvodce, řešitel EURACHEM-ČR

Cílem úkolu bylo vytvoření nové metodické příručky určené zejména pro začínající pracovníky nejen chemických laboratoří a také pro studenty pregraduálního a postgraduálního studia vysokých škol. Náplní příručky je základní přehled většiny témat souvisejících s metrologií a zabezpečením kvality výsledků pro potřeby laboratorní praxe. Výsledkem řešení úkolu je 23. díl řady příruček KVALIMETRIE, který je k dispozici v elektronické formě s ISBN a je volně dostupný na webových stránkách spolku EURACHEM-ČR.

č. VII/7/18 Nejistoty měření ukazatelů sedimentů včetně vzorkování, řešitel CSLab spol. s r.o.

Náplní úkolu bylo stanovení a přezkoumání reálně dosažených nejistot měření ukazatelů v sedimentech a odhad jejich cílových nejistot včetně vzorkování. Úkol navázal na úkol realizovaný v roce 2012 a byl rozšířen o nově sledovaný ukazatel extrahovatelné organicky vázané halogeny (EOX) v návaznosti na nové právní předpisy, dále o distribuci kontrolního homogenního vzorku z místa konání experimentu a certifikovaného referenčního materiálu sedimentu, aby bylo možné zajistit metrologickou návaznost zkoušení způsobilosti (PT). Řešení tohoto úkolu si vyžaduje legislativa v oblasti životního prostředí. Výsledky úkolu bude možno využít mj. při tvorbě dalších právních předpisů a laboratoře ke zlepšení vyhodnocení postupů a nejistot.

č. VII/18/18 Revize kalibračních postupů pro váhy s neautomatickou činností a vytvoření interaktivního formuláře pro zpracování výsledků a vyjádření nejistot při kalibracích vah s neautomatickou činností, řešitel ČKS

Hlavním výstupem řešení úkolu byla revize stávajících postupů pro kalibrace vah s neautomatickou činností, které reflektují nové prvky obsažené v poslední verzi dokumentu EURAMET/cg-18/v.04 (např. stanovení minimální zátěže, horní mezní hodnoty pro nejistoty měření atd.). Dále byl vy-

tvoren a validován nástroj pro zpracování výsledků a vyjádření nejistot při kalibracích vah s neautomatickou činností ve formě interaktivního formuláře v Excelu. Řešení úkolu využijí akreditované kalibrační laboratoře i další subjekty (opravci vah, laboratoře používající váhy apod.) provádějící kalibrace vah.

č. VII/20/18 Informační materiál pro použití vah s neautomatickou činností v obchodním styku a v průmyslových aplikacích, řešitel Unie výrobců vah ČR

Cílem úkolu bylo na základě platné legislativy, předpisů a doporučení vypracovat praktické příručky, které poskytnou srozumitelný návod pro správný výběr, instalaci a provoz vah užívaných pro obchodní styk a k přímému prodeji veřejnosti a v běžných průmyslových aplikacích. Výsledkem jsou dvě praktické příručky, které popisují požadavky a jejich praktickou aplikaci na elektronické váhy používané v obchodním styku a v průmyslových aplikacích. Příručky budou sloužit uživatelům vah i veřejnosti k lepší orientaci v dané problematice.

č. VII/21/18 Překlad dokumentů WELMEC a OIML, řešitel ČMS

Cílem úkolu bylo zajištění kvalitních překladů mezinárodně uznávaných dokumentů vydávaných organizací WELMEC a OIML pro potřeby jejich uživatelů v České republice.

Do češtiny byly přeloženy následující návodové příručky WELMEC: 6.3, 6.7, 6.13, 8.0, 8.8, 8.9, 10.10, 11.1 a doporučení OIML R 134-1, 134-2.

č. VIII/1/18 Zlepšení přesnosti kalibrace systémů přenosu času na nesymetrických optických trasách, řešitel FEL ČVUT

Úkol byl zaměřen na zlepšení přesnosti kalibrace systémů přenosu času na nesymetrických optických trasách s cílem zlepšit přesnost výsledného časového transferu a dosáhnout zlepšení přesnosti porovnání časové stupnice FEL Time (generované v Laboratoři přesného času a frekvence na FEL ČVUT) a národní časové stupnice UTC(TP).

Mezi dosažené výsledky řešení úkolu patří mj.:

- teoretický rozbor přenosu přesného času po optických vláknech a návrh metod stanovení asymetrie v systémech využívajících optické trasy;
- kalibrace asymetrie zpoždění použitých optoelektronických adaptérů;
- porovnání výsledků dlouhodobých měření časových stupnic FEL Time a UTC(TP) pomocí optického přenosu a metodou common-view (s využitím GPS);
- návrh programového vybavení pro vyhodnocení dlouhodobých měření časových diferencí etalonů času;
- analýza přesnosti časového transferu při použití optického přenosu a metody common-view (s využitím GPS).

č. VIII/2/18 Rozvoj laboratoře přesného času a frekvence na FEL ČVUT, řešitel FEL ČVUT

Náplní úkolu bylo zajištění rozvoje Laboratoře přesného času a frekvence na FEL ČVUT. Hlavními výsledky řešení je provozování nových cesiových hodin Microsemi 5071A

Primary Frequency Standard (High performance tube) v Laboratoři přesného času a frekvence na FEL ČVUT a jejich navázání na Státní etalon času a frekvence a průběžné porovnávání se stupnicí UTC(TP). Dále vytvoření metod a postupů, programového a dalšího vybavení, zejm. monitorovacího systému pro hlášení poruch, technického a programového vybavení pro výše uvedený systém, NTP serveru, systému zálohovaného napájení cesiových hodin.

č. VIII/3/18 Metrologické charakteristiky psychoaktivních látek (NPS), řešitel VŠCHT

Cílem úkolu bylo určení metrologických charakteristik nových syntetických látek zneužívaných jako psychoaktivní drogy a validace pracovních standardů těchto látek pro praktické využití ve forenzních a toxikologických laboratořích, zejména v Celní správě a Policii České republiky. V rámci úkolu bylo řešeno šest nových psychoaktivních látek.

Seznam NPS řešených v rámci úkolu:

	Název	Chemický název
1.	4-HO-MET	3-{2-[Ethyl(methyl)amino]ethyl}-1H-indol-4-ol
2.	CUMYL-4CN-BINACA	1-(4-cyanobutyl)-N-(1-methyl-1-phenylethyl)-1H-indazole-3-carboxamide
3.	5-MAPDI	N-methyl-5-indanyl-2-aminopropane
4.	2-FDCK	2-(2-Fluorophenyl)-2-methylamino-cyclohexanone
5.	5F-ADB	Methyl (S)-2-[1-(5-fluoropentyl)-1H-indazole-3-carboxamido]-3,3-dimethylbutanoate
6.	DL-4662	1-(3,4-dimethoxyphenyl)-2-(ethylamino)pentan-1-one

č. VIII/6/18 Dělič pro měření velmi rychlých impulzních napětí do 100 kV, řešitel FEL ČVUT

Úkol navázal na předchozí úkol řešený na katedře elektroenergetiky FEL ČVUT v Praze ve spolupráci s ČMI v roce 2017, z jehož výsledků vyplynulo, že v oblasti metrologie impulzních napětí není k dispozici vhodný impulzní dělič napětí pro měření průběhů s dobou čela menší než 50 ns, při amplitudě napětí 100 kV. Toto metrologické zajištění je potřeba pro zkoušky izolátorů podle normy ČSN EN 61211 stanovující podmínky pro testování izolátorů. Cílem tohoto úkolu bylo proto vytvoření návrhu a realizace takového děliče napětí. V rámci řešení úkolu byla navržena konstrukce děliče a zhotoven prototyp, u něhož byly úspěšně stanoveny potřebné parametry. Výsledky řešení úkolu budou prezentovány mj. na mezinárodní konferenci ISH 2019.

č. VIII/9/18 Posouzení použitelnosti měřidel bodové rychlosti proudu využívající elektromagnetického principu měření, řešitel ÚVS FS VUT v Brně

Cílem úkolu bylo posoudit možnost využití elektromagnetických měřidel bodové rychlosti pro potřeby úředního měření průtoku v profilech s volnou hladinou. Náplní úkolu byl teoretický popis principů měření, rešerše a analýza platných předpisů a norem a další dostupné literatury

a následně využití získaných informací k experimentálnímu posouzení technických a metrologických parametrů několika elektromagnetických měřidel bodových rychlostí. K získání potřebných poznatků, aby mohly být učiněny definitivní závěry, bude nutné navázat dalšími experimenty.

č. VIII/16/18 Kapacitní etalony s keramickým dielektrikem, řešitel FEL ČVUT

Náplní úkolu bylo prověření možnosti realizovat kompaktní kapacitní etalony větších hodnot ze sad kapacitních elementů s keramickým dielektrikem NP0 (C0G) s menšími kapacitami. Pro doplnění sady vzduchových kapacitních etalonů používaných v současné době na řešitelském pracovišti byl v rámci úkolu realizován etalon jmenovité hodnoty 100 nF z kapacitních elementů se jmenovitými kapacitami 10 nF. Zároveň byly provedeny metrologické testy a zjištěny vlastnosti realizovaného etalonu.

č. VIII/18/18 Případová studie způsobu přípravy matricového kandidátského RM (půdy, kaly) metodou přidávku (spikování) sledovaných ukazatelů. Ověření vhodnosti přípravy RM tímto způsobem, řešitel ANALYTIKA, spol. s r.o.

Využívání CRM při validaci a verifikaci analytických metod a kontrole správnosti měření je jedním z požadavků normy ISO 17025 pro posouzení kompetence zkušebních a kalibračních laboratoří. Matricové referenční materiály tvoří základní stavební prvky metrologické infrastruktury v oblasti chemických měření pro potřeby životního prostředí. Cílem úkolu bylo prověřit možnosti přípravy a využití „umělého“ kandidátského RM v oblasti půd a kalů jako matricových RM se zřetelem na požadavky stability a homogenity připravovaného materiálu. V rámci řešení úkolu byla porovnána homogenita „uměle“ připraveného kandidátského RM čistírenského kalu přidáním požadované koncentrace analytů s přírodním kandidátským RM čistírenského kalu, a dlouhodobá stabilita hodnoty koncentrace a to včetně rozšířené kombinované nejistoty uměle přidávaných (spikovaných) a „přírodních“ analytů.

Výše uvedené vyhodnocení Programu rozvoje metrologie 2018 je pouze stručnou informací o náplni a základních výstupech řešení jednotlivých úkolů zařazených do programu. Kompletní zprávy, případně další písemné dokumenty popisující výsledky řešení výše uvedených úkolů jsou k dispozici u zadavatele (ÚNMZ) těchto úkolů a jejich řešitelů. Například vzorové kalibrační postupy a metodiky provozního měření jsou umístěny na webových stránkách České metrologické společnosti a jsou volně ke stažení, stejně tak příručky vypracované EURACHEM nebo ČIA jsou ke stažení na webových stránkách těchto řešitelů. Jak je z popisu úkolů zřejmé, je Program rozvoje metrologie orientován vyváženě na oblasti fundamentální, průmyslové i legální metrologie. Podporuje tak rozvoj technické i znalostní základny metrologické návaznosti, přispívá k zabezpečování kvality ve výrobě a zabývá se i ochranou spotřebitele a dalších veřejných zájmů cestou legální metrologie.

FYZIKÁLNÍ JEVY

Ing. Jindřich Běťák

Česká metrologická společnost, z.s., Praha

Úvod

V průběhu několika staletí se vědci zabývali ději, které probíhají v přírodě, a objevili při tom řadu zajímavých jevů. Když je důkladně prozkoumali a popsali v odborné literatuře, pak se takový jev často začal označovat jménem toho, kdo jev popsal. To platí i v současnosti. Mnozí autoři byli za své objevy odměněni významnými cenami.

Řada fyzikálních jevů se využívá v metrologii a cílem tohoto příspěvku je stručně některé z nich popsat. Podrobnosti je možné najít v literatuře, na kterou je zde uveden odkaz.

Jevem (dříve též zjev nebo úkaz), je obecně vše, co lze postihnout našimi smysly přímo nebo prostřednictvím nějakého zařízení. Ve fyzikálním smyslu je to děj, probíhající v přírodě; děj, probíhající opakovaně a reprodukovatelně.

Popis jevů je zde řazen abecedně, ať už je název odvozen od jména autora popisu, nebo od obecného názvu jevu. Snahou autora bylo poskytnout čtenáři první orientaci při setkání s nějakým jevem a také podnět k podrobnějšímu studiu.

absorpce: zeslabení energie elektromagnetického záření, zvuku, popřípadě snížení počtu částic při průchodu látkou, způsobené přeměnou jejich energie na jiné formy [L5, L16 str. 766, L18 str. 515]. Obecněji pohlcování, vstřebávání. *Pozn.: ne absor**b**ce, i když sloveso je absorbovat.*

adsorpce: zachycování molekul, atomů, iontů a podobných entit obvykle z plynů nebo z kapalin na povrchu jiné látky. Je to jev povrchový [L5, L16 str. 441].

Augerův jev: emise elektronů z atomu při nezářivém přeskupení elektronového obalu po excitaci elektronů z vnitřní slupky urychleným elektronem nebo rentgenovým zářením. [L3 str. 454, L15]. Používá se zejména při analýze lehkých prvků na povrchu pevných objektů.

Barkhausenův jev: úkaz, dokazující, že magnetizace feromagnetických látek vzrůstá stupňovitě po malých skocích. To se projevuje proudovými nárazy v indukční cívice, obklopující magnetizovanou látku, které lze zjistit buď oscilograficky nebo akusticky jako praskání v reproduktoru připojeném přes zesilovač k indukční cívice [L16 str. 940].

Barnettův jev: železo lze zmagnetovat rychlou rotací [L13 str. 250].

binární jev: také „dvojkový“ – jev, který může nabývat jen dvou hodnot (0-1, ano-ne, pravda-nepravda) [L5].

Casimirův jev: když jsou velmi blízko sebe dvě rovnoběžné nenabitě desky, tak se vzájemně malou silou přitahují [L15].

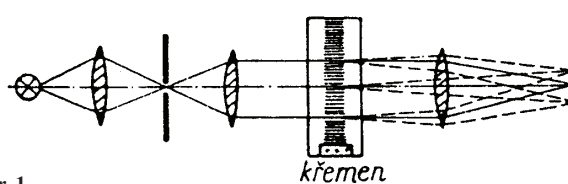
Comptonův jev: rozptyl fotonů záření gama nebo rentgenového záření na volných elektronech (nebo slabě vázaných elektronech vnější slupky atomů). Takový rozptýlený elektron (tzv. Comptonův) může mít směr svírající s původním směrem úhel (0 až 180)°, kdežto normálně odražený elektron má úhel odklonu jen (0 až 90)°. Tento jev se využívá ve spektroskopii záření gama. [L2 str. 856, L5, L14 str. 113, L6 str. 214, L16 str. 527 a 1282].

Coriolisův jev: působení Coriolisovy síly – jedná se o setrvačnou (zdánlivou) sílu, působící na tělesa, která se pohybují v rotující neinerciální vztažné soustavě tak, že se mění jejich vzdálenost od osy otáčení. Projevuje se například ve směru otáčení tlakových výšší a nižší (meteorologie), využívá se v měřicí technice (průtokoměry).

čepové tření: odpor proti otáčení válcového čepu v kluzném ložisku [L15].

Čerenkovův jev: Čerenkovovo záření – scintilace viditelného elektromagnetického záření vyvolaná hmotnými částicemi, které se pohybují v daném prostředí rychlostí větší, než je rychlost světla v témže prostředí. Rychlost částic je ovšem menší než rychlost světla ve vakuu. Jev je výrazný zejména u látek s velkým indexem lomu, protože je velký rozdíl mezi skupinovou rychlostí a rychlostí světla [L3 str. 444, L5].

Debyeův-Searsův jev: ohyb světla na stojatém ultrazvukovém vlnění (podobný ohybu světla na ohybové mřížce) v průhledné kapalině umístěné v křemenné kyvetce. Prochází-li rovinná zvuková vlna s frekvencí vyšší než 20 kHz jednobarevným světlem rovnoběžně s vlnoplochy (viz obr. 1), lze určit z ohybových obrazců vlnovou délku zvuku [L16 str. 578].



Obr. 1

Dellingerův jev: náhlé zeslabení příjmu radiových vln o kmitočtu (2 až 15) MHz, které je způsobeno narušením ionosféry a poruchou magnetického pole země, vyvolanou erupcemi na slunci. [L6 str. 265, L8 str. 93].

Demberův jev: vznik elektrického napětí mezi dvěma povrchy krystalu (polovodiče), z nichž jeden je osvětlen [L10 str. 194 a 195, L19 str. 147].

dilatace času: (roztažení nebo zpomalení) – fyzikální jev pozorovaný u všech objektů, které vzhledem k pozorovateli se pohybují velkou rychlostí (důsledek zákonů speciální teorie relativity) nebo jsou v silném gravitačním poli, popřípadě se pohybují zrychleně oproti inerciální soustavě (důsledek zákonů obecné teorie relativity) [L15].

Dopplerův jev: spočívá v tom, že příjemce (pozorovatel) akustických nebo elektromagnetických signálů registruje kmitočet vyšší nebo nižší, než je kmitočet zdroje signálu, pokud se zdroj vůči pozorovateli (nebo pozorovatel vůči zdroji) pohybuje [L18 str. 380]. Relativistický Dopplerův jev se týká případu, kdy rychlosti pohybů jsou srovnatelné s rychlostí světla [L6 str. 87]. Jev je pojmenován podle rakouského fyzika a matematika Christiana Dopplera (1803–1853).

dopružování: u polykryalických látek, hlavně u polymerů, se po odstranění zatížení deformace nevytrácí okamžitě, nýbrž postupně po určité době [L15].

dotykový (kontaktní) jev: přerozdělení nosiče el. náboje při vzájemném styku pevných látek (někdy též pevných látek s kapalnými látkami), které nastává i tehdy, nepůsobí-li látka na sebe chemicky a mají-li stejnou teplotu. Kontakt může být uskutečněn i třením. [L3 str. 290].

dvojkový jev: viz jev binární

Einsteinův a de Hassův jev: vznik otáčivého impulzu při zmagetování [L2 str. 656, L16 str. 943].

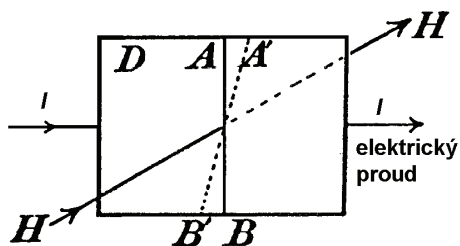
elektretový jev: uchování polarizace dielektrika, i když na ně přestane působit elektrické pole. Pravděpodobnou příčinou je polarizace molekul dielektrika související s deformací. Náboj elektretu není volný, zkratováním elektrod se neodstraní; nemůže být zdrojem energie, ale může vytvářet elektrostatické pole potřebné k transformaci jiných energií na elektrickou [L3 str. 282, L16 str. 846].

Poznámka: elektret je dielektrická látka, která uchovává polarizaci i po odstranění vnějšího elektrického pole. Elektrická obdoba permanentních magnetů. Používá se například v mikrofonech. [L6 str. 119].

elektrooptický jev: vznik nebo změna dvojlomu světla v látce vlivem elektrického pole. Podle typu látky je rozdíl indexů lomu řádného a mimořádného paprsku úměrný čtverci intenzity elektrického pole (viz jev Kerrův) nebo intenzitě elektrického pole (jev Pockelsonův) [L5].

elektrostriční jev: změna tvaru a objemu dielektrického tělesa vlivem jeho elektrické polarizace ve vnějším elektrickém poli. Tento jev nastává v všech dielektrik, velikost deformace je úměrná druhé mocnině intenzity elektrického pole [L6 str. 119].

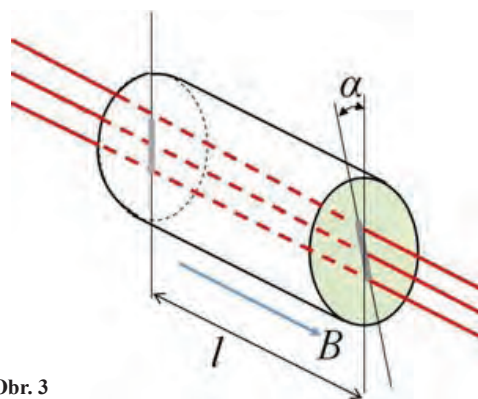
Ettingshausenův jev: tepelný úkaz vznikající ve vodiči, který je vložen do silného magnetického pole, když směry proudu a silokřivek svírají pravý úhel. Na obr. 2 je



Obr. 2

vodivá destička, kterou prochází proud i v naznačeném směru, pak ve směru AB vzniká stejné oteplení, takže čára AB představuje izotermu. Vložíme-li nyní destičku do silného magnetického pole o intenzitě H mířící kolmo k destičce, změní se poloha izoterm z AB na $A'B'$. Magnetické pole má tedy takový účinek, jako by kolmo k proudu a vektoru intenzity vyvolávaly tepelný proud, který trvá potud, dokud se vedením deskou teplotní pole nevyrovná. Jev má znaménko kladné, když se jeví stočení izoterm, pozorované ve směru silokřivek, v kladném směru. Tento transversální jev je obdobou jevu Hallova. [L13 str. 322] Viz též jevy Nernstův a Leducův a heslo „termomagnetické a galvanomagnetické jevy“. Blíže také [L19 str. 170].

Faradayův jev: také Faradayova rotace – stáčení polarizační roviny lineárně polarizovaného světla při průchodu světelného paprsku podél magnetických indukčních čar v látce: pro úhel stočení polarizační roviny platí $\alpha = V \cdot B \cdot l$, kde V je tzv. Verdetova konstanta (charakteristická pro dané prostředí a závislá na vlnové délce světla), B složka magnetické indukce ve směru šíření světla a l délka dráhy paprsku v látce [L2 str. 817, L3 str. 353, L5]. Viz obr. 3. Aplikace – např. Faradayův rotátor, optický izolátor.



Obr. 3

fotoelektrický jev: též fotoefekt – uvolňování elektronů v některých látkách působením světla nebo elektromagnetického vlnění o kratších vlnových délkách. Při vnitřním fotoelektrickém jevu se uvolňují elektrony jen uvnitř látky (polovodiče, např. selen, telur, oxid měďný). Při vnějším fotoelektrickém jevu vystupují uvolněné elektrony (fotoelektrony) z povrchu kovu a mohou se pohybovat ke vhodně uspořádané elektrodě ve vysokém vakuu. Je to využito u fotoelektrických článků. Charakteristickým kmitočtem rozumíme nejnižší kmitočet světla, které může elektrony z kovu uvolnit [L16 str. 1039].

Fraunhoferův jev: ohyb světelných paprsků šterbinou [L16 str. 1211]. Je důsledkem Huygensova principu, tedy jevu, kdy se každý bod, do kterého vlnění dospěje, opět stává všesměrovým zdrojem.

galvanomagnetické jevy: viz heslo „termomagnetické a galvanomagnetické jevy“

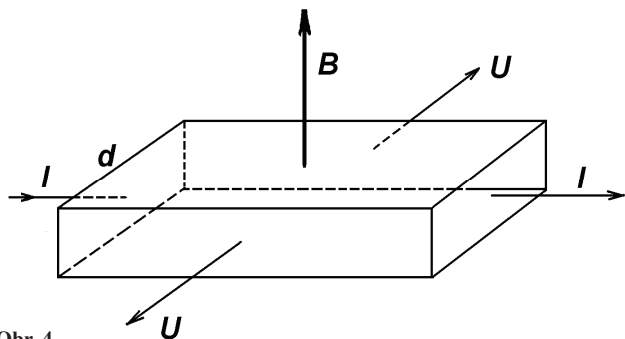
gorkovský jev: (také Lucembursko-gorkovský) – vzájemné ovlivnění dvou radiových vln procházejících ionosférou; křížová modulace radiového signálu, ke které dochází na středních a dlouhých vlnách; příčinou jsou nelineární vlastnosti ionosféry. [L5].

gyromagnetické jevy: úkazy dokazující úzkou souvislost mezi magnetickými momenty atomů a momenty hybnosti, které vznikají u feromagnetických látek spinem elektronů nebo opačně mechanickým momentem hybnosti zmagnetované látky. Tyto jevy zásadně potvrzují elektrodynamickou teorii, podle níž je původ feromagnetizmu v nekompenzovaných spinech elektronů, jež budí magnetické momenty atomů těchto látek. Tak lze železo zmagnetovat rychlou rotací (*jev Barnettův*) nebo se naopak zmagnetováním udělí železné tyčince otáčivý impuls (*jev Einsteinův-de Hassův*) [L16 str. 942].

halové optické jevy: v atmosféře vznikají odrazem a lomem světla na ledových krystalech středních nebo vysokých oblaků, nacházejících se mezi pozorovatelem a Sluncem popřípadě Měsícem. Nejčastějším halovým jevem je malé a velké halo (duhově zbarvená kola kolem Slunce a Měsíce [L5].

Hallův jev: pozorovaný u destiček (nebo pásků) z vodivých nebo polovodivých materiálů, vložených do magnetického pole, kolmého k povrchu destičky (**obr. 4**). Protéká-li destičkou podélně elektrický proud I , vznikne působením magnetického pole (s indukcí B) na pohybující se elektrické náboje elektrické pole, které je kolmé ke směru průtoku elektrického proudu (působením magnetického pole dochází k zakřivení drah nábojů). Mezi okraji destičky vznikne napětí $U = R_H \cdot B \cdot I / d$, kde d je šířka destičky a R_H je tzv. Hallova konstanta. Destiček z materiálů s velkou Hallovou konstantou (např. Ge, InSb, InAs) se používá k měření magnetických polí. Slouží též k určení znaménka nosičů elektrického proudu [L6 str. 145, L13 str. 322, L16 str. 976, L19 str. 88]. Viz také heslo „termomagnetické a galvanomagnetické jevy“.

interference vlnění: jev, při němž se vzájemně skládají dvě nebo více vlnění (ať už mechanická v pružném



Obr. 4

prostředí, nebo světlo), která přicházejí z různých zdrojů. U mechanického vlnění se sčítají okamžité výchylky kmitajícího pružného prostředí, u elektromagnetického vlnění se sčítají okamžité výchylky elektrické složky a magnetické složky elektromagnetického vlnění.

Jev je nejvýraznější, pokud mají interferující vlnění stejnou frekvenci. Podle fáze obou vlnění v daném místě se amplitudy sčítají nebo odečítají a vytvářejí se výrazné interferenční obrazce. Jevu interference se využívá v metrologii u interferenčních komparátorů.

Josephsonův jev: nestandardní závislost elektrického napětí na elektrickém proudu procházejícím supravodičem přerušeným tenkou nesupravodivou překážkou, tzv. *slabým spojem*. Tyto jevy jsou dva: 1. **Stejnoseměrný Josephsonův jev**, projevující se tím, že stejnosměrný elektrický proud J , který může procházet tenkou vrstvou nesupravodivého materiálu bez vzniku jakéhokoliv napětí, při překročení určité hodnoty J_c způsobí energetické ztráty a na slabém spoji se objeví spád napětí. Při dostatečně vysokých proudech se slabý spoj chová jako normální odporový element v souladu s Ohmovým zákonem. 2. **Střídavý Josephsonův jev** projevující se při ozáření slabého spoje elektromagnetickým zářením s frekvencí f , kdy vznikne na izolační bariéře napětí U , jehož velikost je úměrná celistvému násobku frekvence f : $U_n = n \cdot (h/2e) \cdot f$, kde značí h Planckovu konstantu, $2e$ náboj nesený Cooperovým párem a n celé číslo. Závislost proudu na napětí vykazuje určitou stupňovitost, tzv. Shapirovy schody. K aplikaci jevů jsou zapotřebí realizace slabých spojů zvaných *Josephsonovy spoje*. Ty jsou buď *hrotové*, které tvoří niobová jehla a niobová destička s předem oxidovaným povrchem (Nb_3O_5), který vytváří přepážku mezi supravodivými niobem (přítlačnou silou je nutno nastavit), nebo *plošné*, tvořené niobovými vrstvami oddělenými vrstvou Al_2O_3 . Realizace Josephsonových jevů ve formě série spojů slouží jako etalony elektrických napětí. Udává se zjiitelný rozdíl napětí, menší než $2 \cdot 10^{-21}$ V.

kvantový Hallův jev: kvantově-mechanická verze Hallova jevu; nastává v tenkých vrstvách polovodičů. K jeho pozorování jsou obvykle nutné extrémně nízké teploty, blízké absolutní nule, a silná magnetická pole. Hallův odpor při tomto jevu nabývá pouze diskretních, velmi přesně definovaných hodnot podle vztahu $R_H = h/ne^2$, kde h je Planckova konstanta, n přirozené číslo a e náboj elektronu. Poměr h/e^2 je tzv. von Klitzingova konstanta R_K . Princip jevu – tenká vrstva v polovodiči představuje kanál, kterým se mohou volně pohybovat elektrony, ale jen ve dvou nezávislých směrech. Mají-li magnetické indukční čáry směr kolmý k rovině destičky, pak se elektrony pohybují po kružnicích a ty mají ve velmi silném poli malý průměr a pohyb elektronů se děje s kvantovanými energiemi. Energetické hladiny jsou degenerované, na jedné hladině je více elektronů; prakticky všechny vodivostní elektrony jsou na několika málo hladinách a lze pozorovat kvantování elektrického odporu. Kvantový Hallův odpor je vždy roven konstantě R_K nebo jejím jednoduchým násobkům. Rovnost platí s velkou přesností. Za objev tohoto tzv. „přesného kvantování“ obdržel Klaus von Klitzing Nobelovu cenu. Odpor realizovaný na principu kvantového Hallova jevu se používá jako etalon elektrického odporu.

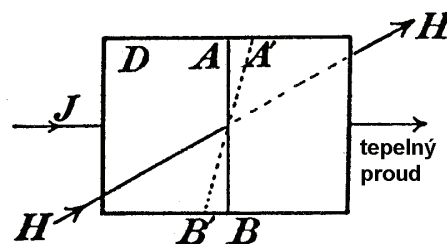
Joule-Thomsonův jev: změna teploty plynu při průchodu škrticí přepážkou (ventilem, pórezní zátčkou) a při adiabatickém poklesu tlaku, z vyšší hodnoty na nižší. Využívá se zejména při zkapalňování plynů [L16 str. 594, 720, L18 str. 506 až 508].

kapilární jevy: úkazy způsobené povrchovým napětím vzájemnými silami mezi molekulami kapaliny a molekulami pevného tělesa, plynu nebo jiné kapaliny (nemísící se s původní). Projevuje se zakřivením hladiny v kapilárách nebo kapilárních štěrbinách. Významnými kapilárními jevy je kapilární elevace (vzlínání) projevující se zdvihem kapaliny v kapiláře a smáčením stěny kapalinou (voda, odmaštěné sklo) nebo kapilární deprese jevící se poklesem kapaliny v kapiláře a odpudivým zakřivením kapaliny u stěny (rtuť, sklo), tvořením kapek aj. Jev kapilární se projevuje i v úzkých kapilárních štěrbinách [L6 str. 91, L12 str. 142, L16 str. 371].

Kerrův elektrooptický jev: vznik dvojlomu v izotropních látkách (zejm. v kapalinách) působením elektrického pole. Vloží-li se kyveta, ve které je vhodná kapalina, mezi desky nabitého kondenzátoru, chová se jako jednoosý krystal s optickou osou rovnoběžnou se směrem elektrického pole. Při pozorování dvěma polarizátory (zkříženými nikoly) – jedním umístěným před kyvetou a druhým za ní – vyjasní se zorné pole vzájemnou interferencí řádných a mimořádných paprsků, které postupují stejným směrem s fázovým rozdílem $e = B l E^2$, kde značí l délku dráhy paprsků v elektr. poli, E intenzitu elektr. pole a B Kerrovy konstantu, jež je závislá pouze na druhu průhledné látky. Vysokou hodnotu Kerrovy konstanty má nitrobenzen. Jev je využíván ke konstrukci zařízení (Kerrův článek nebo buňka) k modulaci světelného toku elektrickými kmity pro zvukové projektory a v televizi [L2 str. 814, L3 str. 354, L16 str. 1224].

Leidenfrostův jev: vytváření drobných kuliček kapaliny, nalité na vodorovnou plochu, jejíž teplota je značně vyšší než teplota varu kapaliny; kuličky konají rychlý a neuspořádaný pohyb a stále se při tom odpařováním zmenšují. Pohyb kuliček vzniká tak, že se pod kuličkou vytváří tenká vrstva páry, která ji izoluje od pevné podložky. Nemohou se tak uplatnit adhezní síly, kulička se vytvoří působením povrchového napětí. [L16 str. 713].

Leducův jev: magneticko-tepelný úkaz, obdobný jevu Etingshausenovu a Hallovu. Vysvětlení: značí-li D kovovou destičku (viz obr. 4b), kterou ve směru J prochází tepelný proud, má průřez AB všude stejnou teplotu, čili čára AB je izoterma. Nalézají-li se však destička v magnetickém poli o intenzitě H , jehož silokřivky míří kolmo na destičku D a kolmo ke směru tepelného proudu, stočí se izoterma do polohy $A'B'$. Je-li pak místo A teplejší než místo B , jde o **Leducův jev** tzv. **kladný**, v opačném případě je jev **záporný**. Protože Leduc objevil jev současně s Righiem, nazývá se tento jev také **zákon Righiův**. Viz také heslo „termomagnetické a galvanomagnetické jevy“.



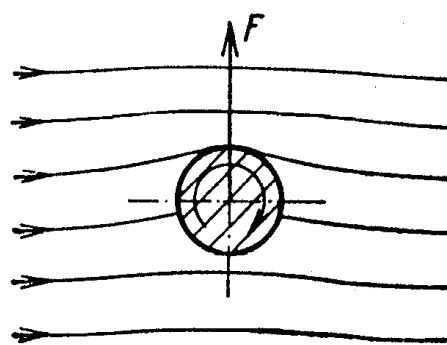
Obr. 4b

magnetomechanické jevy: projevují se změnami mechanického stavu feromagnetických látek, vznikajícími při jejich magnetování nebo naopak jejich magnetizaci při změně mechanického stavu. [L16 str. 871, 941]. Patří sem: magnetostrikce, jev Villariův, jev Wiedemannův a jevy gyromagnetické.

magnetooptické jevy: dvojlom a rotační polarizaci lze vyvolat v některých pevných a kapalných látkách podélným magnetickým polem, rovnoběžným se směrem procházejícího světla (viz jev Faradayův).

magnetostrikční jev: jeden z magnetomechanických jevů [L16 str. 569]. Magnetostrikce se uplatňuje v oblasti senzorové a snímací techniky. Princip spočívá v tom, že těleso vyrobené z feromagnetického materiálu změní v magnetickém poli svoje rozměry.

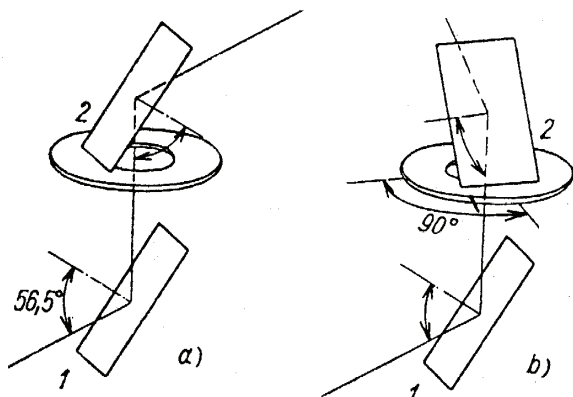
Magnusův jev: aerodynamický jev spočívající v tom, že na otáčející se válec s osou kolmou k proudu vzduchu (obec. tekutiny), jenž jej obtéká, působí **síla kolmá k směru proudu i k ose válce**. Síla směřuje od osy válce na tu stranu, kde je pohyb povrchu válce i tekutiny souhlasný. Její velikost je závislá na hustotě tekutiny, rychlosti proudu, na délce válce a jeho otáčkách. Projevuje se např. i při letu rotujících míčů (viz obr. 5). Pokusně použit k pohonu lodí [L3 str. 157, L16 str. 454].



Obr. 5

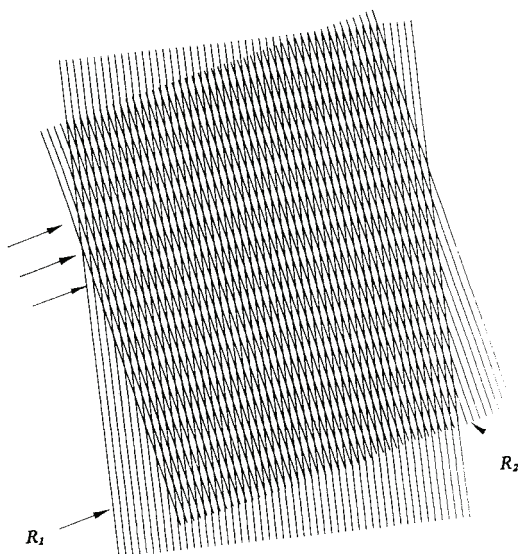
Malusův jev: základní poznatek geometrické optiky, který je z hlediska vlnové teorie světla samozřejmý. Světelná vlna dopadající na rozhraní dvou prostředí se dělí na vlnu odraženou a lomenou, z nichž každá se přitom polarizuje. Světlo dopadající na skleněnou desku pod úhlem $56,5^\circ$ se odráží stejně silně, otáčíme-li deskou kolem dopadajícího paprsku, viz obr. 6. Opakujeme-li totéž se světlem již takto jednou odraženým, pozorujeme, že intenzita světla

po druhém odrazu je největší tehdy, když obě desky jsou rovnoběžné, při dalším natáčení světlo slábne a zmizí zcela, když jsou obě desky na sebe kolmé. Při jiném úhlu dopadu se paprsky polarizují jen částečně [L16 str. 1219, L18 str. 766].



Obr. 6

moiré: (z franc. vrásčitý, také moaré) – optický jev, který nastává například při průhledu dvěma na sebe položenými optickými mřížkami (s hustotou vrypů např. 200/mm), jsou-li proti sobě málo úhlově natočeny (viz obr. 7).



Obr. 7

Mpembův jev: označuje zdánlivě nesmyslnou a paradoxní skutečnost, že teplá voda může zmrznout dříve než voda studená [L15]. Příčina zatím není spolehlivě objasněna.

Nernstův jev: termomagnetický jev, který lze pozorovat u tenké kovové destičky postavené v magnetickém poli kolmo ke směru siločar. Je-li mezi dvěma protilehlými okraji destičky rozdíl teplot, pak mezi okraji kolmými ke směru teplotního rozdílu vznikne elektrické napětí úměrné tomuto rozdílu a intenzitě magnetického pole. Jev je reciprokový, tj. při připojení elektrického napětí na protilehlé okraje

destičky vznikne opět na okrajích k nim kolmých rozdíl teplot úměrný el. napětí a intenzitě působícího mag. pole. [L1 str. 837] Viz též jev Hallův, Ettingshausenův a Leducův a heslo „termomagnetické a galvanomagnetické jevy“. Obecně se nemusí jednat jen o kovové materiály, ale také o polovodiče. Popis jevů jmenovaných v tomto odstavci najde čtenář včetně kvantitativního popisu v [L19].

osmóza: difuze rozpouštědla přes polopropustnou blánu, která odděluje rozpouštědlo a roztok. Polopropustná blána propouští jen rozpouštědlo, ale částice rozpouštěné látky nepropouští [L1 str. 270 až 272, L3 str. 263, L6 str. 90, L8 str. 34, L12 str. 349, L13 str. 213 až 215, L16 str. 755 až 768, L17 str. 225, L18 str. 516].

Peltierův jev: vzniká při průchodu elektrického proudu spodem mezi dvěma kovy nebo kovem a polovodičem, kdy se uvolňuje nebo spotřebuje dodatečné teplo. Toto teplo je úměrné prošlému náboji a Peltierovu koeficientu. To se využívá pro chlazení malých ploch [L16 str. 957]. Viz také heslo „Seebeckův jev“.

piezoelektrický jev: vznik elektrického napětí mezi plochami krystalu při jeho deformování. Může se vyskytovat pouze u krystalů, které nemají střed symetrie. Nejznámější piezoelektrickou látkou je monokrystalický křemen, křída. Poprvé byl piezoelektrický jev pozorován u Seignettovy soli (vinan sodnodraselný), fosforečnanu amonného a titaničnanu barnatého a strontnatého. Jev může probíhat i v opačném směru – nazývá se potom nepřímý piezoelektrický jev. [L6 str. 119, L16 str. 569, 846, 848]. Vzniklý náboj je přímo úměrný působící síle.

Pockelsonův jev: jedná se o elektrooptický jev, kdy se index lomu mění úměrně k přiloženému elektrickému poli. Využití má v součástech elektrooptických modulátorů [L3 str. 354].

Purkyňův jev: změna citlivosti oka na vnímání barev při přechodu z vidění fotopického (tj. v průběhu adaptace oka na světlo) na skotopické (při adaptaci oka na tmu). Při velmi slabém osvětlení vnímáme nejprve barvu zelenou a teprve nakonec červenou. Při zeslabování nejdříve vidíme barvu modrou nebo šedomodrou [L16 str. 1177].

pyroelektrický jev: jeden z elektrostatických jevů, vyvolávající elektrostatickou indukci teplem, například vznik elektrických nábojů na protilehlých koncích turmalínového krystalu při jeho zahřátí [L16 str. 846]. Srovnej piezoelektrický jev vyvolaný tlakem nebo fotoelektrický jev vyvolaný osvětlením.

Ramanův jev: vzniká při interakci mezi fotony dopadajícího světla s vibračními a rotačními stavy atomů nebo molekul. Původně monochromatické světlo rozptýlené různými látkami v pravém úhlu ke směru vstupujícího svazku obsahuje kmitočty, které se liší od kmitočtu dopadajícího světla o hodnoty charakteristické pro rozptylující látku. Většinou je nově vzniklý kmitočet

nížší než původní (to souvisí s energetickými poměry). [L2 str. 827, 930, L16 str. 1238].

regulační jev: projevuje se u látek, u nichž se táním objem zmenšuje (např. u vody). U nich se s rostoucím tlakem snižuje teplota tání, a jakmile tlak poklesne, nastane znovu zmrazení. Projevuje se při tvorbě sněhových koulí, při bruslení apod. [L16 str. 707].

Richardsonův jev: tepelná emise elektronů z žhavého kovového vlákna do vakua. Elektronu je nutno dodat určitou kinetickou energii, aby mohl být vyvrstěn z povrchu vodiče (výstupní práce), proto se Richardsonův jev neprojevuje za normální teploty. [L16 str. 1039], [L22 str. 28]. Jev byl zkoumán od počátku dvacátého století, hlavně v souvislosti s konstrukcí elektronky.

Sabatierův jev: částečné převrácení hustot fotografického obrazu na inverzní. Vzniká dodatečným osvětlením fotograficky citlivé vrstvy během vyvolávání. Je to výrazné konturování na rozhraní světlých a tmavých ploch [L5].

Seebeckův jev: vznik elektromotorického napětí v obvodu složeném ze dvou různých vodičů, jejichž spoje mají různou teplotu (princip termoelektrického článku) [L14]. Viz také heslo „Peltierův jev“ a heslo „termoelektrické jevy“. Elektrické pole a teplotní gradient váže vztah $dU/dx = \alpha \cdot dT/dx$. Opačný jev, Peltierův, je vytvoření tepelného proudu následkem protékajícího elektrického proudu $dQ/dt = \pi \cdot I$ (Q je zde tepelné množství) [L19 str. 168].

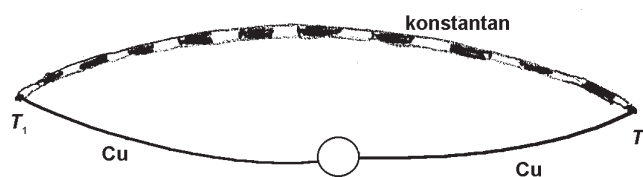
Skinefekt (povrchový jev): nerovnoměrné rozložení proudové hustoty v průřezu vodiče, její soustředění k povrchu vodiče. Střídavý proud procházející vodičem indukuje uzavřené vířivé proudy. Tyto vířivé proudy mají blíže ke středu vodiče opačný směr než původní elektrický proud a odečítají se od něj, kdežto blíže k povrchu jsou směry souhlasné a proudy se sčítají. Efekt roste s frekvencí, s průměrem vodiče a vodivostí. Významný u vysokofrekvenčního vedení, například u vlnodů. K skinefektu se vztahuje pojem hloubky vniku.

Starkův jev: štěpení spektrálních čar v důsledku změny vlnové délky emitovaného fotonu, která je způsobena působením silného příčného elektrického pole na zdroj záření, což je emitující atom [L14].

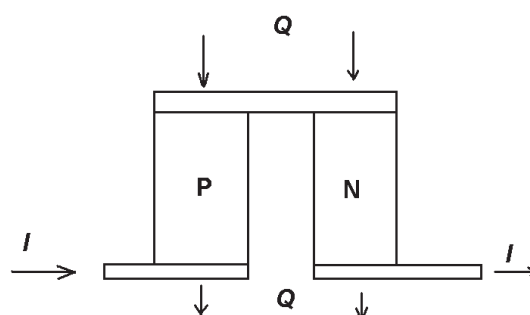
stroboskopický jev: vzniká při pozorování rotujícího nebo kmitajícího předmětu osvětleného přerušovaným světlem. Je-li kmitočet přerušovaného světla shodný s kmitočetem např. kmitajícího předmětu, jeví se pozorovaný předmět v klidu. Při nevelkém rozdílu obou kmitočetů lze pozorovat sledovaný předmět v mírném pohybu. Při známém kmitočtu přerušovaného světla (nastavitelném) lze takto stanovit kmitočet kmitání (otáček) pozorovaného předmětu. Působením tohoto jevu lze vysvětlit zdánlivé otáčení kol vozidel proti smyslu jejich pohybu při promítání filmu. Jev se využívá k měření frekvence otáčení nebo mechanických kmitů [L5].

supravodivost: pokles elektrického odporu na neměřitelnou hodnotu, pokud teplota vodiče klesne pod určitou teplotu T_k , která se nazývá kritická; supravodivost byla původně pozorována při teplotách kolem 4,2 K. Kritická teplota závisí podstatně na magnetickém poli, v němž se vodič nachází. Podrobně např. [L23].

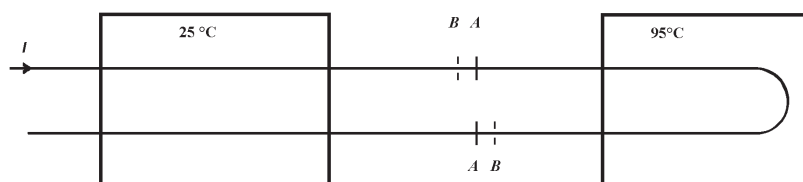
termoelektrické jevy: fyzikální děje vyvolané vazbou mezi elektrickými a tepelnými toky. Při **Seebeckově jevu** (obr. 8) vzniká mezi konci dvou různých kovů nebo polovodičů elektrické napětí zvané napětí termoelektrické, jsou-li jejich druhé konce navzájem spojeny a mají jinou teplotu než spoje srovnávací. Při **Peltierově jevu**, který je inverzní k jevu Seebeckovu (obr. 9), při průchodu elektrického proudu stykem dvou různých kovů nebo polovodičů toto styčné místo teplo buď vydává nebo pohlcuje v závislosti na druhu použitých materiálů a na směru procházejícího proudu. Při **Thomsonově termoelektrickém jevu** (obr. 10) vzniká nebo zaniká teplo podél vodiče s teplotním gradientem při průchodu elektrického proudu. **Benedicksův jev** popisuje vznik termoelektrického napětí v obvodu s jedním materiálem, jehož konce mají stejnou teplotu, ale střed má teplotu vyšší a teplotní spád k oběma koncům je nesymetrický. U kovových materiálů nebyl tento jev prokázán, vždy se jednalo o nehomogenitu vodiče, u polovodičů existuje.



Obr. 8



Obr. 9



Obr. 10

termomagnetické a galvanomagnetické jevy: souhrnný název pro jevy Hallův, Nernstův, Righi-Leducův, Ettingshausenův, Ettingshausenův-Nernstův (a pro další,

nepojmenované jevy). Příčinou jevu je vždy to, že vodičem umístěným v magnetickém poli prochází elektrický proud (galvanomagnetické jevy) nebo tepelný proud (termomagnetické jevy). Záleží dále na tom, zda je magnetické pole příčné, nebo podélné (ve směru proudu nebo tepelného toku). Následkem je vznik rozdílu potenciálů nebo rozdílu teplot. Názornou klasifikaci jevů ve smyslu tohoto odstavce lze nalézt v L19 na str. 164].

triboelektrický jev: uvolňování částic (zejména elektronů nebo kladných iontů) z povrchu pevných látek při jejich deformacích nebo destrukcích, při některých fázových přechodech a chemických reakcích. Provází většinu úkonů, při nichž se materiál obrábí, mele, trhá, stříhá, ohýbá apod. [L3 str. 290].

tunelový jev: jeden z typických projevů vlnových vlastností částic, jeví se překonáním překážek (bariér) bez potřebné energie. Lze jej pozorovat jen v souboru velkého počtu jedinců, protože jeho pravděpodobnost je nepatrná [L14 str. 132, 155, 157]. Jde o to, že na velmi tenké polovodičové vrstvě může vlivem silného elektrického pole nastat situace, kdy elektrony přestupují z valenčního pásu přímo do vodivostního.

Tyndallův jev: rozptyl světla v látkách všech skupenství (zvláště v některých kapalinách a plynech) na jejich ultramikroskopických částicích [L2 str. 826, L3 str. 358, L16 str. 1237].

Villardův jev: jeden z magnetomechanických jevů, projevující se tím, že se podélným napínáním nebo stlačováním mění magnetizační křivka feromagnetického drátu nebo tyčky [L16 str. 941].

Wiedemannův jev: jeden z magnetomechanických jevů, projevující se vznikem kroučícího momentu u drátu (tenké tyčky) z feromagnetického materiálu, je-li podélně magnetován a prochází-li jím současně elektrický proud. Tento jev je reciproký: drát, který je mimo magnetické pole se při namáhání krutem zmagnetuje, prochází-li jím elektrický proud [L2 str. 656].

Zeemanův jev: projevuje se štěpením spektrálních čar na několik složek působením magnetického pole na zářičí atom [L14 str. 321, L16 str. 943 a 1308].

Zenerův jev: v polovodiči přechod elektronů z valenčního pásu do pásu vodivostního vlivem silného elektrického pole [L5]. U Zenerových diod na 3 V se však jedná o jiný mechanismus. Zenerův jev je znám také jako *studená emise elektronů* [L19].

Literatura

- L 1: Dr. VI. Novák: Fysika 1 a 2: JČMF Praha 1918
 L 2: RNDr. Zdeněk Horák, DrSc. Ing. Dr. František Krupka, CSc: Fyzika, sv. 1 a 2. SNTL Praha 1976
 L 3: Kol. autorů: Výkladový slovník fyziky (pro zákl. vysokoškolsk. kurz). JČMF, Prometheus Praha 1999.
 L 4: Doc. Ing. Karel Zehnula, CSc: Snímače neelektrických veličin. SNTL Praha 1983
 L 5: Leda HEURÉKA univerzální encyklopedie 2002 (na CD)
 L 6: Kolektiv autorů: Slovník školské fyziky. Státní pedagogické nakladatelství Praha 1988
 L 7: K. P. Jakovlev: Matematické zpracování výsledků měření. SNTL Praha 1958
 L 8: Názvy a značky školské fyziky. Státní pedagogické nakladatelství Praha 1977
 L 9: Prof. RNDr. Z. Horák: Praktická fyzika. SNTL Praha 1958
 L 10: M. Jedlička: Fotoelektrický jev. SNTL Praha 1975
 L 11: F. Golab, F. Kamenčák: Termoelektrické jevy a jejich užití. Státní pedagog. Naklad. Praha 1975
 L 12: Ph. Dr. Frant. Nachtikal: Technická fyzika. JČMF 1937.
 L 13: R. Faukner: Moderní fyzika. Nakl. Josef Hokr, Praha 1947
 L 14: Petr Kulhánek: Vybrané kapitoly z teoretické fyziky. Nakladatelství AGA Praha 2017
 L 15: Wikipedia (internet)
 L 16: Z. Horák, F. Krupka, V. Šindelář: Technická fyzika. Vydání 2. Státní nakladatelství technické literatury 1960
 L 17: B. Macků: Fyzika. Jednota československých matematiků a fyziků Praha 1928
 L 18: Z. Horák, F. Krupka, V. Šindelář: Základy technické fyziky. Vydav. Práce Praha 1954
 L 19: H. Frank, V. Šnejdar: Principy a vlastnosti polovodičových součástek. Praha: SNTL, 1976
 L 20: *Wikipedie*: Kvantový Hallův jev [online]. c2017 [citováno 13. 08. 2018]. Dostupný z [www: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Kvantov%C3%BD_Hall%C5%AFv_jev&oldid=15414991>](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Kvantov%C3%BD_Hall%C5%AFv_jev&oldid=15414991)
 L 21: *Wikipedie*: Josephsonův jev [online]. c2018 [citováno 13. 08. 2018]. Dostupný z [www: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Josephson%C5%AFv_jev&oldid=16209660>](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Josephson%C5%AFv_jev&oldid=16209660)
 L 22: J. Stránský: *Základy radiotechniky I. Elektronky*. Vydání druhé, Praha, 1949, Melantrich.
 L 23: M. Jirsa: Supravodivost – naděje pro 21. století; Fyzikální ústav AV ČR. Dostupné na: <https://www.fzu.cz/popularizace/supravodivost-nadeje-pro-21-stoleti>

Doplnil a upravil Ing. František Jelínek, CSc.



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

doc. Ing. Jiří Horský, CSc.

za výbor ČKS



Úvod

České kalibrační sdružení je zájmovým sdružením akreditovaných a autorizovaných laboratoří a dalších zájemců o metrologii. Sdružení má již tradici činnosti delší než čtvrt století. Počet členů sdružení v současné době přesahuje stovku.

Sdružení je členem Evropské organizace kalibračních laboratoří Eurocal a má uzavřenou dohodu o spolupráci s Českou metrologickou společností a s Kalibračním sdružením SR v Bratislavě (KZSR) pro koordinaci činnosti, výměnu zkušeností a osvědčených přednášek a pro společné pořádání akcí v oblasti metrologie. V rámci Sdružení působí sekce pro tachografy.

Cíle sdružení

Kalibrační laboratoře obvykle tvoří poměrně malý, ale dosti samostatný organizační celek. Široce využívaná akreditace laboratoří požaduje stabilní a opakovatelný systém práce v laboratoři. To může vést k různým stereotypům a možnosti ke konzervování přístupu pracovníků, který je podpořen obvykle dlouhodobě stabilním vybavením kalibračních laboratoří, jak po stránce hardwarové (etalony), tak i po stránce softwarové (postupy a programy a další dokumentace podle požadavků norem). Proto je potřebné zajistit v rámci vzdělávání a rozvoje kvalifikace i externí kontakty s pracovníky jiných laboratoří i vzdělávání pracovníků ve větší šíři, než je popsáno v interních dokumentech laboratoře. To si dalo za cíl České kalibrační sdružení, z. s.. Hlavním cílem sdružení je dvakrát ročně, (na jaře a na podzim) na odborných konferencích informovat zájemce o problematice měření, podnikové metrologie, pracovníky kalibračních laboratoří a všechny další zájemce o novinkách a nových požadavcích vyplývajících z právních a technických předpisů. Jednání konference je vždy rozděleno do několika částí. Na začátek je po organizačních záležitostech spolku zařazeno vystoupení vedoucích pracovníků ÚNMZ, ČIA a ČMI k obecným záležitostem, týkajícím se právní problematiky metrologie, akreditace a autorizace metrologických pracovišť a informace, jaké jsou nové požadavky legislativy. Informace na konferencích dvakrát ročně umožní laboratořím i pracovníkům z praxe zajistit, že jim neunikne žádná významnější změna předpisů, požadavků i trendů vývoje a dozví se všechny potřebné novinky včas. Dalším pozitivem je možnost okamžitě konzultovat se zástupci úřadů případné nejasnosti ihned po informacích na konferenci, nebo i později neformálně při setkání s příslušnými pracovníky ÚNMZ, ČIA a ČMI v rámci konference.

Druhá část programu konferencí, která slouží k rozšíření přehledu a informovanosti pracovníků laboratoří, kteří se s měřením setkávají v praxi na všech úrovních, je věnována odborné problematice metrologie a záměrně je probírána ve větší šíři, než je obvyklé ve specializované dokumentaci laboratoře, která většinou reaguje jen na požadavky aplikovaných norem v rámci rozsahu akreditace. Této šíře pojaté

informovanosti o odborné problematice věnuje výbor sdružení stále velkou pozornost.

Program 57. konference

První část konference byla věnována práci členů ČKS a tvořila ji zpráva o činnosti výboru od 56. konference, přednesená Ing. Jiřím Kazdou, průběžná informace o hospodaření v roce 2018, kterou přednesl Jan Střelec a informace o plánu činnosti ČKS na další období.

Následovala Obecná část s informacemi z UNMZ, ČIA ČMI. Aktuální informace z ÚNMZ podal Ing. Zbyněk Veselák, ředitel odboru metrologie ÚNMZ, aktuality z oblasti akreditace Ing. Jiří Růžička, MBA, ředitel ČIA, první zkušenosti se zaváděním nové normy 17025 do praxe z pohledu akreditačního orgánu, Ing. Martin Valenta, Český institut pro akreditaci, o.p.s.. Zkušenosti s opakovanou akreditací dle revidované normy z pohledu akreditované laboratoře uvedl Ing. Martin Knížek, akreditovaná kalibrační laboratoř Kalex.

Po představení vystavovatelů pokračoval odborný program 57. konference přednáškami: Přístroje pro měření parametrů textury povrchu, jejich kalibrace a typy používaných etalonů, popsal Ing. Jan Šrámek, ČMI Brno, Informace z konference CPEM a o projektech ČMI, uvedl Mgr. Martin Šíra, ČMI Brno.

57. konference ČKS, konaná 7. 11. a 8. 11. 2018, již tradičně v Hotelu Skalský Dvůr v Lisku u Bystřice nad Pernštejnem, obsahovala několik velmi kvalitních přehledových referátů, které podstatně podrobněji uvedly a rozšířily informace, dostupné jinde. Byly to:

Metrologie 1918–2018, Ing. František Jelínek, CSc.

Vynikající přehled stavu a rozvoje metrologie od vzniku Československa v roce 1918 až do nynějška podal Ing. František Jelínek, CSc. v příspěvku nazvaném Metrologie 1918–2018.

Vývoj v oblasti metrologie po vzniku ČSR 1918 usnadnila kontinuita právního řádu, například až v roce 1962 byl nahrazen zákon z roku 1872 (vydaný 1876) *O váze a míře*. Už od roku 1876 se Rakousko-Uhersko rozhodlo používat jednotky metrické soustavy. Na Slovensku, jako součásti Uherska, však ještě delší dobu než v Předlitavsku žili se sáhy, palci a holbami.

Cejchovní služba byla dobře organizována, existovaly metrologické předpisy pro jednotlivé druhy měřidel, bylo vymezení kompetencí zemských a okresních úřadů i služební řády. Nový stát tehdy mohl tyto služby převzít a postupně transformovat do nových pořádků, ale problém představovala rozdílná situace v českých zemích a na Slovensku, daná jejich jiným postavením v historii Rakousko-Uherska. Každý „nový“ stát po roce 1918 byl sice uznáván jako následnický, ale to nestačilo, protože v r. 1921 byl k měrové konvenci připojen dodatek, který zní: *Formálně každý stát může přistoupit k této Konvenci tím, že předá svou přihlášku francouzské vládě, která o tom pak informuje všechny zúčastněné státy a předsedu Mezinárodního výboru pro váhy a míry* a proto

Česká republika se do Konvence přihlásila 23. 9. 1922 (nóta uložena v archivu francouzské vlády, čímž přístup nabyl mezinárodní platnosti) a i po roce 1993 musela akt přistoupení k měrové konvenci absolvovat znovu.

V sledovaném období dělaly metrologii největší problémy jednotky pro elektrické a magnetické veličiny. Zde přetrvávalo užívání tzv. mezinárodní praktické soustavy jednotek, používala se soustava CGS (centimetr, gram, sekunda) a z ní se vyvinuly pro oblasti elektřiny a magnetismu soustavy CGS absolutní, CGS elektrostatická a CGS absolutní magnetická, takže jsme se setkávali s nyní již zapomenutými jednotkami Oersted, Maxwell, Gilbert, Gauss, ale také kilopond, a dokonce i koňská síla (HP). Doznívala doba, kdy si každý obor dotvářel svou soustavu jednotek a až zákonem č. 35/1962 Sb. jsou určeny základní jednotky m, kg, s, A, K, cd. Tento proces skončil až letos změnou definice kilogramu. Novými pojmy zavedenými v názvosloví byly etalon místo normál a kalibrace místo cejchování.

Měření ve vakuové technice, Ing. Karel Bok

Vakuum slouží jako nezbytné „výrobní prostředí“ pro nejrůznější technologické procesy, a jen v malé části případů je i ve výrobku trvale obsaženo.

Vakuum v technickém slova smyslu je uměle generovaný tlak nižší než tlak atmosférický. Jeho vytváření a udržení má svá specifika, a je tím obtížnější a nákladnější, čím nižšího tlaku je třeba dosáhnout. Pro některé průmyslové procesy postačí snížit tlak o jeden až tři řády, ale při vytváření tenkých vrstev ve výrobě polovodičů je již s ohledem na kvalitu vrstev nezbytné pracovat při tlacích alespoň 10^{-3} Pa a ve špičkových technologiích v mikroelektronice jsou požadovány tlaky 10^{-6} Pa i nižší.

Ing. Karel Bok podrobně vysvětlil na základě dlouhodobých zkušeností a praxe z TESLA Rožnov problematiku a praktické řešení měření ve vakuové technice. Vakuová technika je obor masivně využívaný v mnoha technických odvětvích. Bez použití vakua se dnes neobejde výroba prakticky žádného elektronického výrobku, dříve v době před tranzistory bylo vakuum, například v každé elektronce v radiopřijímači v domácnosti a i nyní se bez něho neobejde výroba elektroniky i počítačů a mobilních telefonů, nezbytné je při výrobě optických přístrojů, ve strojírenství, chemii, farmacii, medicíně, chladičích, potravinářství a samozřejmě také v mnoha vědních oborech.

Vakuometry kategorie pracovních měřidel se kalibrují přímým porovnáním s etalonovým měřidlem. Pro kalibraci obvykle postačí ve zkušební komoře udržovat stálý tlak. Kalibrovaný vakuometr je umístěn vedle etalonového.

Automobilový průmysl a měření, Doc. Ing. Jan Lešinský, CSc., Slovenská technická univerzita Bratislava, popsal uvedené téma velmi podrobně v obsáhlé přednášce s mnoha odkazy z výzkumu i z praxe, včetně mnoha souvislostí a s unikátními prezentacemi s neobvyklým množstvím podrobností, odpovídajících skutečnosti, že Slovensko je nyní země s největším počtem vyráběných automobilů na obyvatele na světě a tomu odpovídá i potřebná úroveň znalostí pracovníků.

Automobilový průmysl je část průmyslu, původně strojírenství, který přijímá do svých produktů (automobilů) technická řešení z mnoha sektorů – strojírenství, elektrotechniky, elektroniky, chemického průmyslu, průmyslu zpracování ropy, metalurgie a vytváří velmi integrované, ale individualizované „stroje“. Původně mechanické dílo (samo se pohybující stroj – náhrada taženého kočáru) je dnes dílo integrující (stroj – spoj – přístroj). Na Evropském kontinentu, kde podmínky pro život jsou téměř na celé ploše, si pohyb lidí vynutily místní koncentrace pracovních příležitostí a vzdělávání. Zdroje materiálů nejsou tam, kde jsou lepší podmínky pro život, proto velký výkon vyžadují také přepravy loděmi a železnicí. Pohyb zboží přinesl velký rozvoj dopravy zboží. Člověk na přelomu 20./21. století v pohybu automobilem prožije v průměru 6 let života v autě. Je nezbytné umožnit mu spojení. Soubory řešení bezkontaktních spojení s jiným člověkem, i strojem, i spojem (přenos dat, zvuku, navigace, přes sítě) je již známá cesta.

Pyramida tvůrců automobilů byla zpočátku minulého století, kdy dílo bylo tvořeno v jedné hlavě, v jedné dílně a vlastníma rukama, rozvinuta až v podmínkách dnešní dělby práce, kdy je tvořena výrobky velkého počtu vzájemně často neznámých jednotlivců, firem i společností. Předvýrobní etapa, výroba automobilů, provoz automobilů i jejich likvidace po vyřazení z provozu je pokryta velkým množstvím norem a předpisů. Mnohé z nich platí jen pro automobily („nebezpečný stroj“), jejich plnění se posuzuje ve schvalovacím období, během provozu i po vyřazení a mnohé státy mají k tomu pověřené i veřejnosti motivované organizace. Jsou využívány normy ISO, firemní normy, i pravidelné kontroly.

ECWVTA (European Community Whole Vehicle Type Approval) určuje celý postup (zda je automobil umístitelný na trhu EU a plní normy životního prostředí, bezpečnosti a záruk).

Pro výrobce je klíčový CoC (Certificate of Conformity), který vydává o shodě s typem podle ECWVTA, a od tehdy má výrobce po přezkoumání a podpisu plnou odpovědnost. S tím vším souvisí i velké požadavky na měření a jeho metrologické zabezpečení.

Bezpečnost a ochrana osobních údajů v laboratoři (GDPR), co je nutno udělat a jak k tomu prakticky přistupovat, přednesla Ing. Monika Homolka Becková, poradce/auditor.

GDPR je Nařízení Evropského parlamentu a rady 2016/679 o ochraně fyzických osob v souvislosti se zpracováním osobních údajů. Představuje novou etapu ochrany osobních údajů. Týká se každého, kdo shromažďuje nebo zpracovává osobní údaje bez ohledu na právní formu. Stanovuje nové povinnosti, z nichž některé se týkají všech správců. Zpracování osobních údajů bylo vysvětleno i ve vztahu k ČSN EN ISO/IEC 17025:2018: včetně Analýzy rizik, požadovaných novou normou.

Na základě závěrečné zprávy z auditu, shrnující slabé stránky u každé skupiny subjektu údajů, jehož data se v laboratoři zpracovávají, má být vyhodnoceno, jaké riziko by

pro něj nebo pro správce představoval únik, chybnost či neúplnost, dočasná nedostupnost nebo úplná ztráta údajů, respektive co by v takovém případě nastalo; aby bylo jasné patrné, které údaje je potřeba nejlépe chránit. Má být také provedeno hodnocení a analýza rizika „nesouladu“ s GDPR.

Environmentálne meracie a monitorovacie systémy a ich metrologické zabezpečenie

S měřením prostředí se setká každý, ale málo všeobecně známou problematiku, jak je to řešeno, vysvětlila RNDr. Olga Novanská, *Microstep-MIS*, Bratislava.

Každý ví, že sledování parametrů, vztahujících se k počasí, dlouhodobě provádí velmi velká síť měřících meteorologických pracovišť.

Již kolem roku 340 před naším letopočtem řecký filozof Aristoteles shrnul tehdejší znalosti o atmosféře a zřejmě poprvé použil pro nauku o počasí výraz meteorologie. Učenci si postupně uvědomili, že aristotelské filozofické metody v meteorologii nikam nevedou. Začaly vznikat první přístroje a od té doby je meteorologie s rozvojem technologií pevně spojená. Prvním meteorologickým přístrojem byl zřejmě srážkoměr, o kterém se píše už v čínských kronikách. Řekové používali 8-hrannou a starověcí Římané 12-hrannou růžici na určování směru větru. První primitivní hygrometr byl sestaven Leonardem da Vinci v roce 1480 (využíval princip změny hmotnosti látky pohlcující vlhkost) a přibývaly další průlomové přístroje. V r. 1606–1607 Galileo Galilei a jeho žáci konstruují kapalinové teploměry a kolem r. 1670 první rtuťové teploměry a tlakoměry používané na pozorování počasí. V roce 1714 Gabriel Fahrenheit sestrojil rtuťový teploměr, který měl vlastní měřicí stupnici.

První meteorologická měření byla založena na využívání nově objevených měřidel a čas a místo jejich provádění bylo dáno na uvážení pozorovatele. Velmi brzy však lidé přišli na to, že kvůli dalšímu využívání těchto měření musí být termíny pozorování pravidelné, prováděné stejnými typy měřidel a měření musí být co nejméně ovlivňováno okolním prostředím. Světová meteorologická organizace (WMO) schválila normy pro výšku uložení teploměrů a ta je mezi 1,25 m a 2 m nad zemí. Postupně byla budována síť stálých meteorologických stanic a už od roku 1856 měla Francie první pravidelnou meteorologickou službu v Evropě, (od r. 1857 byla v USA a od roku 1860 ji má také Anglie). Státní meteorologický ústav byl Praze založen v roce 1919. Monitoring životního prostředí (meteorologický, hydrologický, radiální, ...) se děje na základě bodového měření, a takto získané hodnoty se pak přiřazují k nehomogennímu prostředí v krajině, které může dosahovat několika kilometrů čtverečních. Teprve meteorologické radary a velmi složité modelování umožnily spolehlivější předpovědi počasí, které zajímají asi každého člověka a staly se běžnou součástí současného života.

První kalibrační laboratoře pro tato měření byly budovány ještě pro klasické přístroje kolem roku 1970 a většinou zajišťovaly pouze kalibraci měřidel teploty. Nyní se kalibrují i další měřidla, se kterými se běžné kalibrační laboratoře setkávají.

Sekce tachografy se v rámci 57. odborné konference zúčastnilo téměř 50 účastníků z řad Autorizovaných metrologických středisek a zástupců výrobců tachografů. Vystoupení zástupců v prvním dnu jednání sekce zahájil zástupce Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha – Ing. Jiří Kuba, vedoucí oddělení legální metrologie ÚNMZ, příspěvkem „Problematika zavádění digitálních tachografů 2. generace“; dále vystoupil Ing. Radim Bočánek, referát pro posuzování způsobilosti Český metrologický institut Brno s příspěvkem „Poznatky z MPZ tachografů, po změnách v roce 2017“. Druhý den odborné konference zahájil Patrik Mück, *Tachografy S.O.S., Praha*, příspěvkem „Tachografy EFAS“. Ing. Jiří Novotný z *Centra dopravního výzkumu Brno*, přítomné seznámil se svým příspěvkem na téma „Současnost: Digitální tachograf a podvody / Budoucnost: Inteligentní tachograf a vážení“. Zástupci společnosti *HALE spol. s r.o., Praha* (Ing. Karel Jelínek) a *TACHTEK Solutions, Brno* (Jan Hlavatý), referovali na téma „Digitální (inteligentní) tachograf Stoneridge a tachograf DTCO“ – Příloha 1C (EU 2016/799) a aktualizace 1C.

Řada přednesených příspěvků opětovně zdůraznila nutnost udržování a zvyšování odbornosti zaměstnanců AMS, vyvolanou neustálými změnami předpisů pro tachografy a inovacemi konstrukce tachografů a postupů jejich kontroly, rozvíjející se spolupráci s kontrolními orgány v oblasti dopravy, prohloubení vzájemné spolupráce při odhalování podvodů s digitálními tachografy. Zároveň v systému managementu jakosti v každém Autorizovaném metrologickém středisku je nutné reagovat na novelu normy ISO 19011 a ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 a problematiku zavádění digitálních tachografů 2. generace.

ČKS plánuje v roce 2019

58. konference a členská schůze spolku se uskuteční ve dnech 14. 5. a 15. 5. 2019 tradičně v hotelu Skalský dvůr v Lísku u Bystřice nad Pernštejnem.

Odborné semináře

Problematika oborů kalibrace jednotlivých veličin je probírána na samostatných odborných seminářích, které jsou organizovány podle potřeby a stavu rozvoje oborů a převážně periodicky, aby se zachytil vývoj norem daných oborů, ale i potřebná opakovanost proškolení pro pracovníky laboratoří s delší praxí a informovanost pro nové pracovníky laboratoří. Seminář z oblasti metrologie **délky** je plánován na březen v **ČMI Brno**.

Uvažuje se i s možností pořádání semináře o **hmotnosti** v návaznosti na problematiku řešené v rámci úkolu rozvoje metrologie.

Seminář o **kalibraci elektrických veličin** je předpokládán tentokrát až ve druhém pololetí 2019 v prostorách AKL Meros v Zubří a s předváděním kalibrací na zařízeních Meros.

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

POTŘICÁTÉ

MEZINÁRODNÍ STAVEBNÍ VELETRH

POMÁHÁME VAŠIM SNŮM...



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

17.-21. 9. 2019

www.forarch.cz

FOR[®] ARCH

OFICIÁLNÍ VOZY



NABÍDKA AKCÍ ČMS NA I. POLOLETÍ ROKU 2019



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



5. 3. až 6. 3. 2019 Hotel PRIMAVERA, Plzeň	Ko 549-19	28. mezinárodní konference MĚŘICÍ TECHNIKA PRO KONTROLU JAKOSTI
25. března 2019 ČSVTS Praha, učebna č. 318	K 550-19	Řízení metrologie v organizaci
27. března 2019 ČSVTS Praha, učebna č. 318	K 551-19	Měření momentu síly
10. až 13. června 2019 ČSVTS Praha, učebna č. 501	K 552-19	50. Základní kurz metrologie
1. dubna 2019 ČSVTS Praha, učebna č. 318	K 553-19	Nejistoty měření ve strojírenství
3. června 2019 ČSVTS Praha, učebna č. 501		Členská schůze Návrh doprovodné akce bude upřesněn

ČMS Vás zve
na 28. mezinárodní konferenci
MĚŘICÍ TECHNIKA PRO KONTROLU JAKOSTI
s výstavkou měřicí, zkušební a kontrolní techniky

Motto konference:
Současná metrologie – pilíř moderního průmyslu
*Pro zájemce budou také připraveny na odpoledne druhého dne
čtyři exkurze dle výběru*

Podrobnosti budou uvedeny na webové stránce ČMS
www.csvts.cz/cms

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



Redakční rada:

Ing. Zdeňka Pohořelá (předsedkyně), Ing. Jindřich Šabata (místopředseda), 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: únor 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:

Etalon odporu 1 Ω , výrobce Leeds & Northrup, z přelomu 19. a 20. století [N. Hawkins: Hawkins Electrical Guide vol. 3, Theo. Audel & Co., 1914]

Photo on the front page:

Leeds and Northrup 1 Ω resistance standard, from the turn of the 19th and 20th century [N. Hawkins: Hawkins Electrical Guide vol. 3, Theo. Audel & Co., 1914]

