

3/2022  
ROČNÍK 31

# METROLOGIE

VĚDECKÁ  
LEGÁLNÍ  
PRAKTICKÁ



**METROLOGIE V PRAXI**

Ing. Jan Beránek, Ph.D.; Ing. Petr Kovář; Ing. Luděk Král; Mgr. Monika Mazánová, Ph.D.; Ing. Jan Rusňák, Ph.D.; Ing. Vladimír Sochor; Ing. Dominika Sosnová; Ing. Jaroslav Šolc, Ph.D.

Novinky na OI Praha z oblasti chemie a ionizujícího záření .....1

Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.

Kalibrace mimo stálé prostory laboratoře .....8

Ing. Martin Valenta

Principy kalibrace v oboru tlak .....14

**HISTORIE**

Ing. Lenka Kňazovická, Ph.D.

Historie bezdotykového měření teploty .....17

**VĚDA A VÝZKUM**

Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc.

Metodika DOE a její uplatnění v praxi .....24

Mgr. Markéta Šafaříková Pštroszová, MPA

Doc. RNDr. Jiří Tesař, Ph.D.

Analýza zapojení České republiky do Evropského metrologického programu pro inovace a výzkum EMPIR .....28

**INFORMACE**

Ing. František Hnízdl

Analýza ČSN v oblasti metrologie .....31

Ing. Miroslav Čermák

Česká agentura pro standardizaci přináší novinky ze světa technických norem .....33

Ing. Jiří Kazda

Informace o práci Českého kalibračního sdružení z.s. ....36

Nabídka akcí ČMS na II. pololetí roku 2022

**METROLOGY IN PRACTICE**

Ing. Jan Beránek, Ph.D.; Ing. Petr Kovář; Ing. Luděk Král; Mgr. Monika Mazánová, Ph.D.; Ing. Jan Rusňák, Ph.D.; Ing. Vladimír Sochor; Ing. Dominika Sosnová; Ing. Jaroslav Šolc, Ph.D.

News at RI Praha in the Fields of Chemistry and Ionizing Radiation .....1

Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.

Calibration Outside Permanent Laboratory Premises ...8

Ing. Martin Valenta

Principles of Calibration in the Field of Pressure .....14

**HISTORY**

Ing. Lenka Kňazovická, Ph.D.

History of Non-Contact Temperature Measurement ....17

**SCIENCE AND RESEARCH**

Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc.

DOE Methodology and Its Application in Practice .....24

Mgr. Markéta Šafaříková Pštroszová, MPA

Doc. RNDr. Jiří Tesař, Ph.D.

Analysis of the Czech Republic's Involvement in the European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR) .....28

**INFORMATION**

Ing. František Hnízdl

Analysis of ČSN in the Field of Metrology .....31

Ing. Miroslav Čermák

Czech Standardization Agency - News from the World of Technical Standards .....33

Ing. Jiří Kazda

Information about the Activities of the Czech Association for Calibration .....36

The List of ČMS Events in the 2<sup>nd</sup> Half of 2022



## NOVINKY NA OI PRAHA Z OBLASTI CHEMIE A IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ

**Ing. Jan Beránek, Ph.D., Ing. Petr Kovář,  
Ing. Luděk Král, Mgr. Monika Mazánová, Ph.D.,  
Ing. Jan Rusňák, Ph.D., Ing. Vladimír Sochor,  
Ing. Dominika Sosnová, Ing. Jaroslav Šolc, Ph.D.**

*Český metrologický institut*

Oblastmi chemie a ionizujícího záření se na ČMI OI Praha zabývají čtyři oddělení: dvě oddělení primární metrologie (plynných směsí a certifikovaných referenčních materiálů a veličin ionizujícího záření), oddělení výroby standardních radionuklidových zdrojů a oddělení legální metrologie veličin ionizujícího záření.

V oblasti chemie a ionizujícího záření bylo v uplynulých letech dokončeno několik projektů, ve kterých jsou ve spolupráci se zahraničními partnery řešeny aktuální problémy, a další jsou ve slibné fázi vývoje nebo přímo aplikace výsledků do praxe.

Na základě úspěšného řešení různých projektů byly akreditovány nové veličiny a uskutečnilo se (nebo je v blízké době plánováno) rozšíření měřicího rozsahu u některých již akreditovaných veličin.

V rámci oblasti chemie a ionizujícího záření Vám přinášíme přehled o následujících službách a projektech:

- Analýza chemického složení pro oblast plynárenství
- Analýza sirných složek v zemním plynu
- Analýza plyných směsí s obsahem CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, propanu a metanu
- Detekce návykových látek
- Výroba standardních radionuklidových zdrojů
- Spektrometrická charakterizace kvalit záření X
- Bezpečnostní prostředek pro radiační havarijní připravenost
- Kvazirealistický antropomorfní fantom torza trupu Elvis
- Monte Carlo simulace odezvy pixelového detektoru
- Vybudování referenčního etalonu emise plošných radionuklidových zdrojů záření alfa a beta
- Projekt traceRadon – vývoj radonových zdrojů a kalibrační metody
- In-situ metrologie pro vyřazování jaderných zařízení z provozu

### Analýza chemického složení pro oblast plynárenství

Oddělení primární metrologie plyných směsí se zabývá analýzou zemního plynu a jeho příměsí. Zemní plyn byl a stále je jedním z důležitých zdrojů energie. Společně s ropou a uhlím patří zemní plyn k základním surovinám zajišťujícím chod současné technologicky vyspělé společnosti. Zemní plyn patří mezi ekologicky nejšetrnější složku fosilních paliv s velmi nízkými emisemi nežádoucích znečišťujících látek a nejmenšími měrnými emisemi oxidu uhličitého.

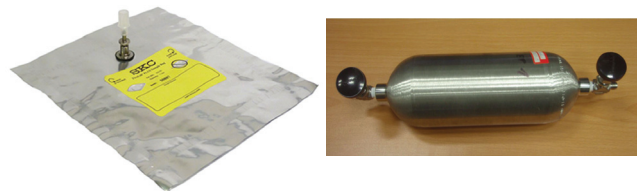
V budoucnu je v plánu na evropské úrovni snižovat závislost na zemním plynu, který je do Evropy importován.

Jednou z možností, jak snížit závislost na zemním plynu, je vodíková strategie představená Evropskou komisí. Ta předpokládá, že podíl vodíku nebo jeho směsí s jinými plyny ve stávající plynárenské infrastruktuře poroste. V poslední době také roste význam biometanu, který se začíná vtlačet do plynárenské sítě. Již nyní je v České republice provozována biometanová stanice, která na komerční bázi produkuje biometan a dodává ho do distribuční sítě (stanice Rapotín - <https://www.efg-rapotin.cz/>). V plánu je během tohoto roku uvést do provozu další stanice.

Výše uvedené budoucí využití distribuční sítě klade vysoké nároky na měření kvalitativních parametrů distribuovaného plynu, který bude kromě zemního plynu také obsahovat vodík a biometan v obsahu, který není nyní pro přepravovaný plyn standardní.

Pro návaznost měření v oblasti plynárenství je důležité mít k dispozici vhodné referenční materiály a analytické metody, které jsou pro daný typ analyzovaných složek ověřené nejlépe pomocí mezilaboratorního porovnání.

Laboratoř plyných směsí se v roce 2019 zúčastnila mezinárodního porovnání zemního plynu obsahujícího vodík a helium s velmi dobrým výsledkem (CCQM-K118). Laboratoř má v současné době akreditovanou metodu analýzy pro uhlovlík, dusík a oxid uhličitý. Na základě úspěšného porovnání proběhne rozšíření CMC a akreditované metody měření obsahu zemního plynu o vodík, helium a kyslík.



**Obr. 1:** Vzorkovací vak pro odběr vzorku plynu (vlevo). Tlaková vzorkovnice pro vzorkování plynu pod tlakem s pasivovaným vnitřním povrchem (max. tlak 124 bar, vpravo)

### Analýza sirných složek v zemním plynu

Do zemního plynu se přidávají specificky zapáchající složky, které mají především varovný účinek. Uvedené složky se nazývají odoranty a jedná se v současné době o různé sirné složky. Zápach odorantu by měl varovat osoby při úniku zemního plynu z odběrného plynového zařízení nebo plynovodu a zabránit tak případnému požáru nebo výbuchu. Zápach odorantů musí být varovný a zároveň specifický, aby vyvolal rychlou reakci smyslů a přinutil zasažené osoby k obrannému jednání.

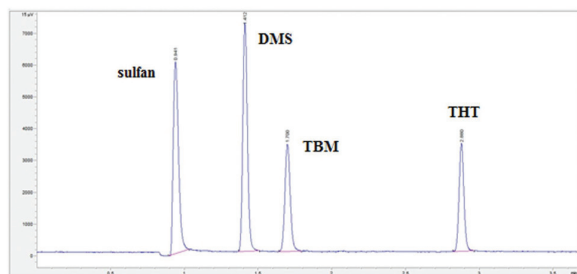
V rámci oddělení plyných směsí byla zavedena metoda pro stanovení obsahu sirných složek pomocí plynového chromatografu s chemiluminiscenčním detektorem (**obr. 2**). Záznam z měření sirných složek lze vidět na **obr. 3**. Ke stanovení obsahu je nutné mít k dispozici vhodné referenční materiály s definovaným obsahem stanovovaných sloučenin, který má zaručenou návaznost na základní jednotky SI.

Referenční materiály pro sirné sloučeniny s velkou reaktivitou a nízkou stabilitou, bývají někdy velmi obtížně dostupné nebo mají nízkou kvalitu, která se může negativně projevit na výsledném stanovení obsahu sirných složek ve vzorku plynu.

Laboratoř plyných směsí si gravimetricky připravuje potřebné referenční materiály do speciálně upravených tlakových lahví, které mají vnitřní povrch vhodně pasivovaný – je minimalizována sorpce sledovaných složek na stěny tlakové lahve. Referenční materiály je možné připravovat na míru pro danou analytickou aplikaci. Stanovení odorantů (DMS, TBM, THT) v zemním plynu laboratoř nabízí jako akreditovanou službu.



Obr. 2: Plynový chromatograf pro stanovení sirných složek v plyném vzorku



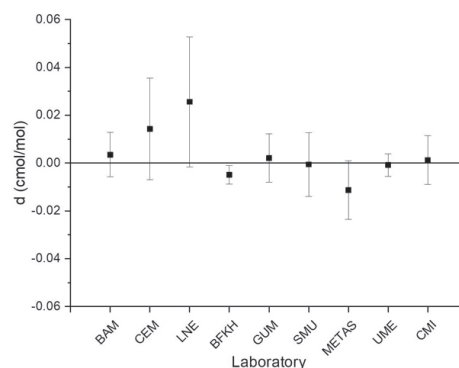
Obr. 3: Záznam z měření sirných složek na plynovém chromatografu s chemiluminiscenčním detektorem

### Analýza plyných směsí s obsahem CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, propanu a methanu

Při kalibraci měřidel, která stanovují obsah plyných složek ve vzduchu (např. CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> a CH<sub>4</sub>), je potřeba mít k dispozici vhodný referenční materiál. V současné době jsou gravimetricky připravené referenční materiály považovány z pohledu nejistoty sledované složky za nejlepší volbu. Při využití gravimetricky připravených směsí je potřeba mít pro kalibraci analyzátorů plynu více plyných směsí s vhodnou kombinací složení, které jsou ale na pořízení finančně náročné. Proto je vhodné gravimetricky připravené plyné směsi kombinovat s dynamickou přípravou plyných směsí. Ta umožňuje připravit plynou směs „na míru“ pro danou aplikaci.

Oddělení plyných směsí je schopno gravimetricky připravit plynou směs a provést i akreditovanou analýzu uvedených složek. Měřicí schopnosti laboratoře jsou potvrzeny mezilaboratorními porovnáními jak v rámci České republiky, tak i mezinárodními. Na obr. 4 lze vidět výsledky pro kyslík z posledního porovnání, kterého se ČMI zúčastnilo – porovnání Euramet QM-K3.2019 Automotive exhaust gases (obr. 4).

Aktuálně pracovníci laboratoře pracují na dynamickém mísení plyných směsí (obr. 5) a koncem roku bude možné nabídnout kalibraci přenosných analyzátorů plynu v rámci služeb pro zákazníky.



Obr. 4: Výsledky stanovení kyslíku při mezinárodním porovnání (Euramet QM-K3.2019 Automotive exhaust gases)



Obr. 5: Zapojení průtokoměrů pro dynamické ředění

### Detekce návykových látek



Obr. 6: Výsledky testů po aplikaci slin, destilované vody a vzorku s vybranými drogami (COC – kokain, MET – metamfetamin, BZO – benzodiazepiny, Opi – opioidy, AMP – amfetamin)

Problematika detekce návykových látek v silničním provozu je pokryta pouze u jediné látky, kterou je ethanol a to včetně stanovení koncentrace. Jiné nedovolené návykové látky, jako je například kokain nebo THC, je možné stanovit pouze orientačně, a navíc z výsledků lze usoudit pouze na jejich přítomnost či nepřítomnost v organismu.

Detekce drog na úrovni alkoholu není v současné době možná, jelikož



se jedná o velmi širokou a různorodou skupinu chemických sloučenin. Může se jednat o strukturně velmi jednoduchý aceton nebo naopak o složitou molekulu jako THC. V dnešní době jsou dostupné jednorázové testy na přítomnost drog v organismu, které jsou založeny na principu vazebné souměrnosti. Drogy přítomné ve vzorku soutěží s příslušným drogovým konjugátem o vazebné místo na specifické protilátce. Pokud není ve vzorku přítomna droga, dojde k obsazení této protilátky konjugátem a ke zbarvení kontrolní oblasti. Pokud je ve vzorku dostatečné množství drogy, dojde k obsazení protilátky drogou ve vzorku a zbarvení nevznikne. Tato skutečnost je dobře patrná na **obr. 6**. Při aplikaci destilované vody a slin vzniklo zbarvení na všech kontrolních polích, jelikož nebyly přítomny žádné drogy. Na testu s popiskem „MIX“ vzniklo zbarvení pouze na kontrolní oblasti označení „C“ a u benzodiazepinů, které ve vzorku nebyly. U linie pro THC si lze povšimnout lehkého náznaku zbarvení, přestože THC ve vzorku bylo přítomno.



**Obr. 7:** Dräger DrugTest 5000, zdroj: draeger.com

ČMI se v současné době snaží nalézt cestu, jak lze podpořit tento druh stanovení drog v organismu. Nabízí se možnost nalezení detekčních limitů pro jednotlivé druhy testů, případně kontrola kvality testů založená na základě výběru z různých sérií. V případě testů, které pracují s vyhodnocovacím zařízením (**obr. 7**), jsme již schopni provádět periodické kontroly správnosti detekce daného zařízení. Pro práci s těmito testy je možné vyrobit roztoky o různých koncentracích s využitím gravimetrické přípravy. K verifikaci připravených roztoků je možné využít analytické metody, jako vhodná volba se v tomto případě jeví GC-Q/TOF (kapalinová chromatografie typ kvadrupól – time of flight).

### Výroba standardních radionuklidových zdrojů

Během roku 2021 oddělení výroby standardních radionuklidových zdrojů navrhlo a následně zařadilo do prodeje 14 nových typů etalonů aktivity. Etalony jsou typově schváleny Státním úřadem pro jadernou bezpečnost (SÚJB) rozhodnutím č. SÚJB/RCAB/10986/2021. Z větší části se jedná o speciálně navržené etalony aktivity pro firmu VF a.s. Zbylé typy určené k prodeji jsou etalony typu EFra (bodové zdroje s Ra-226) a etalony typu ERnO (radonová voda).

Nově vyráběné etalony typu EFra jsou bodové radionuklidové zdroje X a gama záření, jejichž konstrukce je založena na třívrstvé tepelně svařované PET-Al-PE fólii. Jedná se o uzavřené radionuklidové zdroje (podle zákona č. 263/2016 Sb.) s klasifikací ISO/14/C21222 podle normy ISO 2919. Typické využití etalonů typu EFra je energetická a účinnostní kalibrace měřidel ionizujícího záření, zejména gama spektrometrů.



Pro výrobu etalonů typu ERnO byla navržena, a následně i vyrobena, nová konstrukce zařízení. Zařízení má dostatečnou odolnost pro transport i mimo laboratoř a je schopné maximálně potlačit vlivy transportu radonu mezi kapalnou a plynnou fází. Etalon typu ERnO je otevřený radionuklidový zdroj (podle zákona č. 263/2016 Sb.) Rn-222 ve vodě s typickým využitím ke kontrole, ověřování a kalibraci měřidel pro stanovení hmotnosti (objemové) aktivity Rn-222 ve vodě.

**Obr. 8:** Zařízení pro výrobu etalonů typu ERnO

### Spektrometrická charakterizace kvalit záření X (implementace doporučení ISO 4037)

V oddělení primární metrologie veličin ionizujícího záření je uchováván státní etalon veličiny kerma ve vzduchu pro záření gama a X. Tato základní dozimetrická veličina, která kvantifikuje počáteční kinetickou energii uvolněnou při interakcích fotonů ve vzduchu, není zcela vhodná pro použití v oblasti radiační ochrany. V radiační ochraně se používají tzv. operační dozimetrické veličiny osobní dávkový ekvivalent, směrový dávkový ekvivalent a prostorový dávkový ekvivalent, které kromě deponované energie kvantifikují i biologické účinky v lidské tkáni. Pro přechod od veličiny kermy ve vzduchu k dané operační veličině se používají konverzní koeficienty, jejichž hodnoty lze pro různé kvality záření a různé geometrie ozařování získat v doporučení ISO 4037.

Jako důsledek novely doporučení ISO 4037:2019 ed.2.0, která vstoupila v platnost v roce 2019, byl v dozimetrické laboratoři OI Praha implementován postup spektrometrického stanovení energetické distribuce fotonů ve svazcích záření X, aby bylo možné konverzní faktory vypočítat z hodnot doporučených pro monoenergetické fotony. K tomuto účelu byl pořízen polovodičový spektrometr X-123CdTe firmy AMPTEK z USA (**obr. 9**). Jedná se o kompaktní detektor se senzorem z polovodiče CdTe ve tvaru kvádrů o velikosti 3 mm × 3 mm × 1 mm s termoelektrickým chlazením.

V roce 2019 byla pomocí vhodných radionuklidových zdrojů provedena energetická kalibrace detektoru a byl proveden rentgen detektoru za účelem zjištění jeho vnitřní struktury. S jejich použitím byl následně postupně vytvořen detailní výpočetní model spektrometru pro Monte Carlo simulaci v kódu MCNP, vypočteny odezvové matice a vytvořen algoritmus pro dekonvoluci naměřených amplitudových spekter a stanovení výsledné energetické distribuce fotonů ve svazcích záření X. Původní komerčně dodávaný kolimátor

byl v roce 2020 upraven a doplněn o dodatečné wolframové stínění, které umožnilo efektivnější odstínění detektoru.

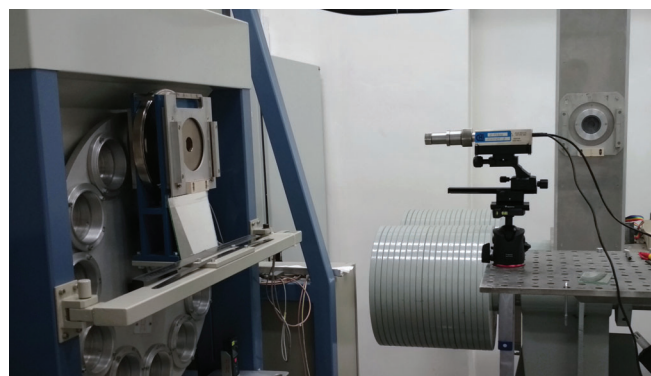
Pomocí spektrometru s optimalizovaným kolimátorem byly následně stanoveny energetické distribuce fluence fotonů ve svazcích rentgenového záření řady N v souladu s doporučením ISO 4037:2019. Vytvořený dekonvoluční algoritmus umožňuje stanovit také další parametry fluenčních spekter, proto byl postup v následujících dvou letech aplikován i na další kvality záření X a bude pokračovat i nadále s cílem vytvořit katalog energetických distribucí fluence fotonů ve všech svazcích záření X realizovaných v dozimetrické laboratoři ČMI OI Praha.

Implementace CdTe spektrometru poskytuje účinný nástroj k charakterizaci spekter záření X. Kromě původního cíle splnění požadavků doporučení ISO lze spektrometr rovněž využívat k neinvazivní kontrole anodového napětí rentgenky pro vlastní potřeby ČMI (**obr. 10**), popř. ke zkouškám měřidel anodového napětí (tzv. kVp-metrů).

Problematické spektrometrické stanovení energetické distribuce fotonů pro dozimetrii svazků záření X se v současné době věnuje vícero metrologických pracovišť na celém světě. Na konci května byl tomuto tématu věnován samostatný webinář konzultativního výboru pro ionizující záření CCRI. Webinář CCRI lze shlédnout na Youtube kanálu BIPM („The BIPM“).



Obr. 9: Detektor X-123CdTe s kolimátorem



Obr. 10: Měření spekter rentgenového záření

## Bezpilotní prostředek pro radiační havarijní připravenost

Havárie jaderné elektrárny ve Fukušimě v roce 2011 stimulovala vývoj bezpilotních leteckých (UAV) i pozemních (UGV) prostředků schopných operovat v podobných

situacích, aby se tak předešlo ozáření lidských pracovníků, kteří by museli být jinak na místo vysláni. Touto problematikou se zabýval i mezinárodní výzkumný projekt „Preparedness“ v rámci evropského metrologického výzkumného programu EMPIR (<http://www.preparedness-empir.eu>). V rámci projektu byla vyvinuta celá řada radiačních monitorovacích systémů schopných nasazení v havarijních podmínkách.

Vlajkovou lodí celého projektu byl systém vyvíjený ve spolupráci ČMI, Vojenského technického ústavu, české divize firmy NUVIA a švýcarského výrobce bezpilotních prostředků Swissdrones. Vyvinutý systém spojuje výkonost, dlouhý dolet a vysokou nosnost (přes 30 kg užitečného zatížení) bezpilotní helikoptéry SDO 50 V2 se špičkovým spektrometrickým germaniovým detektorem s mechanickým chlazením IDM 200V. Vysoké energetické rozlišení detektoru (méně než 2,3 keV při energii 1332 keV) umožňuje přesnou identifikaci radionuklidů vyskytujících se na místě případné havárie. Na základě těchto informací pak mohou bezpečnostní experti odhadnout, které systémy byly narušeny a v jakém rozsahu. Následně mohou podniknout potřebná opatření k eliminaci hrozeb a dle míry rizika rozhodnout o rozsahu případné evakuace.

Detekční část systému byla nejprve několikrát testována v ČR na palubě pilotované helikoptéry a následně byl celý systém včetně bezpilotní helikoptéry otestován ve Švýcarsku, na testovacím polygonu laboratoře ve Spiez. V roce 2022 je plánováno představení tohoto unikátního prostředku na Technickém mítinku pro bezpilotní radiační monitoring, který je pořádán Mezinárodní agenturou pro atomovou energii (MAAE) a proběhne ve dnech 26.–30. září v České republice.



Obr. 11: Tým vědců a techniků z ČMI, NUVIA, VTÚ a Swissdrones před testovacím letem ve švýcarském Spiez

## Kvazirealistický antropomorfní fantom torza Elvis

Laboratoř primární metrologie veličin ionizujícího záření se také se účastnila mezinárodního výzkumného projektu „MRTDosimetry“, který se zabýval zajištěním metrologického řetězce veličiny **absorbovaná dávka** v cílené nukleární terapii (targeted nuclear medicine, molecular radiotherapy). V jeho rámci byl vytvořen antropomorfní fantom vhodný pro optimalizaci postupů používaných při léčbě rakoviny štítné žlázy. Jedná se o pevný fantom neobsahující žádnou kapalinu. Jeho rozměry jsou 20 cm × 50 cm × 29 cm



(výška, šířka, hloubka) a hmotnost 16,5 kg. Tvar fantomu vychází z CT snímků skutečného pacienta. Skládá se ze dvou hlavních částí: části trupu a části krku, které byly vytištěny na 3D tiskárně. Část trupu byla vyrobena jako jednoduchá vnější skořepina o tloušťce 2,5 mm, uvnitř které byla vložena vnější skořepina zjednodušené páteře. Použitým materiálem byl plast ABS (Akrylonitrilbutadienstyren). Páteř byla později vyplněna materiálem imitujícím kost, vyrobeným ze silikonové pryskyřice s přídavkem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{TiO}_2$  pro zvýšení protonového čísla a hustoty. Zbytek fantomu byl vyplněn tkáni-ekvivalentním materiálem z polyuretanu.

Krční část je odnímatelný objekt, který zapadá do předního středního vyříznutého prostoru hlavní části fantomu. Krční část obsahuje prázdný prostor cca ( $8\text{ cm} \times 11\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ ), do kterého lze vložit různé vložky specifické pro daný cíl měření. V rámci projektu byly navrženy a použity vložky imitující tvar štítné žlázy a vložky s válcovými objemy. Oba typy vložek byly naplněny radionuklidem  $^{131}\text{I}$ , který je používán právě v radioterapii štítné žlázy.

Ke skutečnému fantomu byl vytvořen také voxelizovaný výpočetní model fantomu, s jehož pomocí je možné metodou Monte Carlo stanovit absorbované dávky uvnitř fantomu. Vytvořený model se skládá z 3 milionů voxelů, které mají každá velikost  $0,977\text{ mm} \times 0,977\text{ mm} \times 1,0\text{ mm}$ .

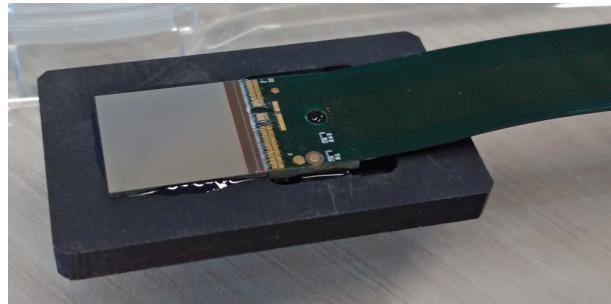


Obr. 12: Antropomorfní fantom Elvis pro použití v nukleární medicíně. Nahoře – celkový pohled, vlevo – krční část s vložkami, vpravo – krční část bez vložek a tkáni-ekvivalentní výplně

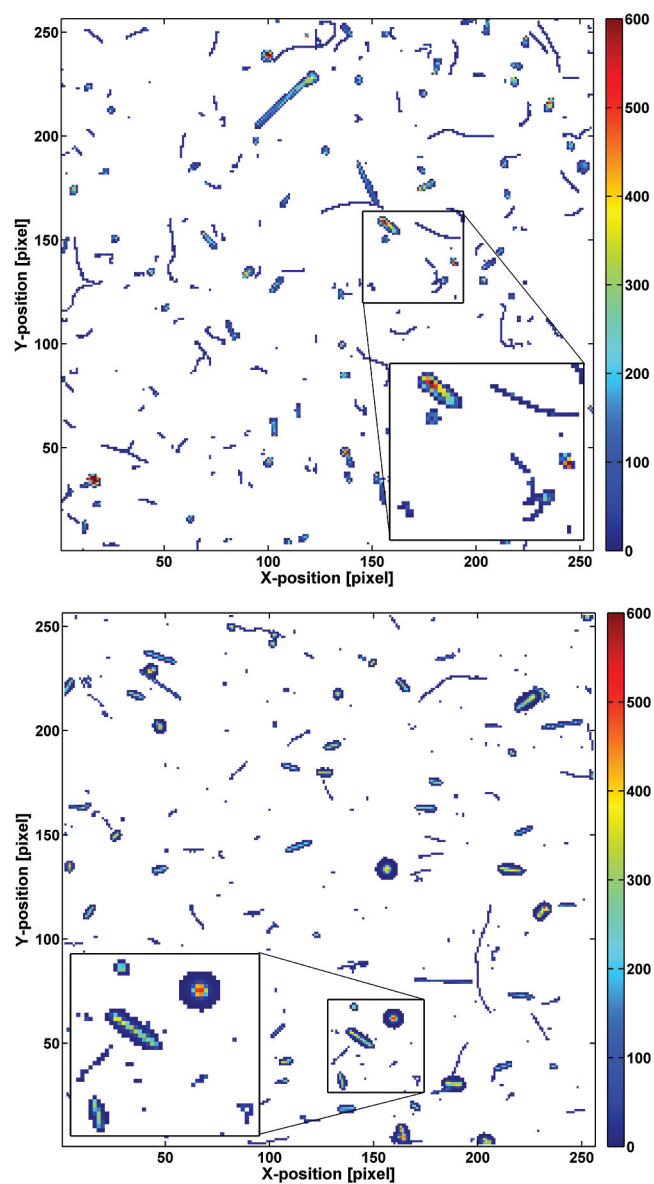
### Monte Carlo simulace odezvy pixelového detektoru

V roce 2023 končí mezinárodní projekt “UHDpulse”, jehož tématem je metrologie absorbované dávky v terapeutických pulzních svazcích o vysoké dávce v pulzu („ultra-high-dose-per-pulse“, UHD). Jedná se o relativně novou metodu léčení vybraných nádorových onemocnění, která využívá skutečnosti, že rychlé dodání dávky

ionizujícího záření do cílové oblasti dosahuje lepších léčebných výsledků než dodání stejné dávky v průběhu delší doby.



Obr. 13: Detail senzoru detektoru Timepix. Velikost senzoru  $1,4\text{ cm} \times 1,4\text{ cm}$

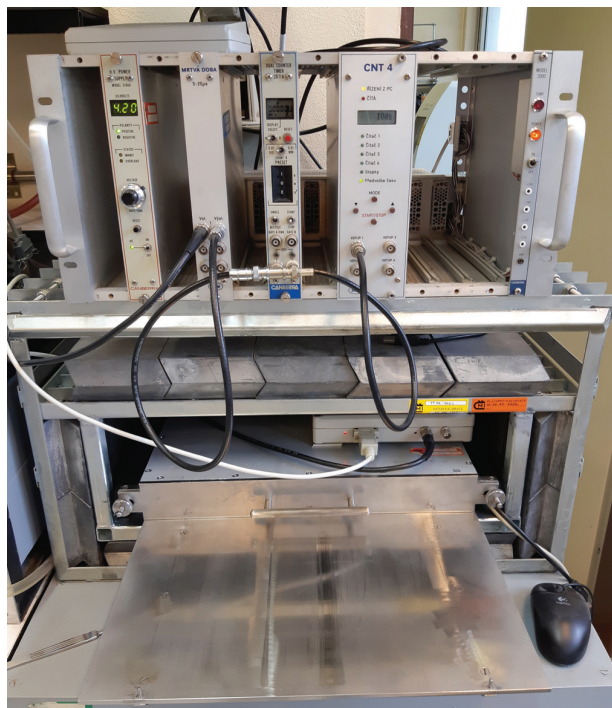


Obr. 14: Porovnání naměřených (dole) a vypočítaných (nahore) tvarů clusterů v detektoru Timepix ve smíšeném poli ionizujícího záření ve vodním fantomu, na který dopadají protony o energii 220 MeV (obvyklá maximální energie používaná pro radioterapii v protonových centrech). Clustery jsou generovány elektrony a protony různých energií. Barevná stupnice ukazuje energii deponovanou v každém pixelu (keV – kiloelektronvolty)

ČMI se v projektu zabývá mimo jiné Monte Carlo (MC) výpočty, jejichž účelem je podpora zpracování dat naměřených pomocí pixelových polovodičových detektorů Timepix (**obr. 13**). Jedná se o detektor typicky s křemíkovým senzorem rozděleným do matice (256 x 256) pixelů při velikosti pixelu 55  $\mu\text{m}$ . Detektor umí zaznamenat stopu každé částice ionizujícího záření, tzv. „cluster“, z čehož lze následně usoudit na energii, typ a směr záření. V projektu je tento detektor optimalizován tak, aby umožňoval měření rozptýleného záření uvnitř vodního fantomu, tzn. při referenčních podmínkách, ve kterých je celý radioterapeutický systém kontrolován. Měření v UHD svazcích, a zejména v protonových svazcích, je však náročné, protože protonový svazek při interakci s vodou a jakýmkoliv dalším materiálem, kterým prochází, generuje velké množství sekundárních částic různých typů, jako elektrony, neutrony nebo fotony. Cílem MC simulací je proto stanovit odezvu detektoru na jednotlivé typy a energie částic a podle získaných výsledků analyzovat měření a přesněji stanovit absorbovanou dávku a ekvivalentní dávku.

ČMI proto vytvořil detailní MC model detektoru, který umožňuje generovat a ukládat clustery stejně, jak je vidí skutečný detektor (**obr. 14**). Metoda také zahrnuje analytický model sdílení náboje se sousedními nezasaženými pixely kvůli driftovým procesům v materiálu snímáče. Ty zásadně ovlivňují tvar clusteru, a pomáhají tak od sebe rozlišit různé druhy a energie částic. Vytvořený MC model a vyvinuté metody umožní optimalizovat třídění měřených clusterů detektorem Timepix podle jejich tvaru, a rozlišit tak jednotlivé složky směsných polí ionizujícího záření.

### Referenční etalon emise plošných radionuklidových zdrojů záření alfa a beta



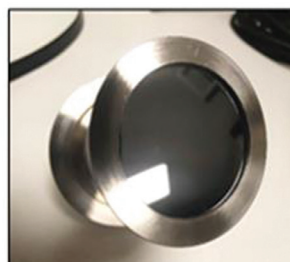
Obr. 15: Velkoplošný bezokénkový plynový proporcionalní počítač (VBPP)

Cílem projektu TAČR zahájeného v roce 2020 je vytvořit předpoklady pro vybudování referenčního etalonu emise plošných radionuklidových zdrojů záření alfa a beta, vyráběných oddělením výroby standardních radionuklidových zdrojů, který bude možné používat ke stanovení hodnoty emise v souladu s normou ISO 8769:2016 (ČSN ISO 8769:2017).

Náplní projektu je pomocí aplikovaného metrologického výzkumu stanovit nezbytné metrologické parametry velkoplošného bezokénkového plynového proporcionalního počítače (VBPP, **obr. 15**) a na základě dosažených výsledků vypracovat souhrnnou technickou zprávu, která je nezbytným předpokladem pro vyhlášení referenčního etalonu. Projekt bude ukončen v letošním roce.

### Projekt traceRadon – vývoj radonových zdrojů a kalibrační metody

Oddělení primární metrologie veličin ionizujícího záření je partnerem ve výzkumném projektu „traceRadon“ realizovaného v rámci programu EMPIR. V rámci projektu byla vyvinuta metrologická návaznost objemové aktivity radonu ve vzduchu na SI jednotky v rozsahu od 1  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  do 100  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . Tato návaznost je nezbytná pro stanovení nízkých aktivit radonu v atmosféře. Přesné znalosti o aktivitních koncentracích radonu v atmosféře a tocích radonu jsou klíčem ke zlepšení odhadů pohybu skleníkových plynů ve výzkumu klimatických změn a pro radiační ochranu. Ze studií vyplývá, že mezi pohybem skleníkových plynů a radonu v atmosféře existuje určitá korelace. Cílem projektu bylo proto navrhnout a vyrobit dva nové standardizované zdroje nízkých koncentrací radonu. Tyto zdroje jsou vhodné jako kalibrační standardy pro vytvoření stabilních atmosfér s nízkou koncentrací radonu. Takovéto stabilní podmínky pro kalibraci je za pomoci těchto zdrojů možné vytvořit jak v laboratorních podmínkách, tak i přímo v terénu. Ve stabilních uměle vytvořených radonových atmosférách je možné kalibrovat zařízení pro detekci radonu do 100  $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ . Zdroje byly vyvinuty v PTB (**obr. 16**) a ČMI za podpory SÚJCHBO (Státní ústav jaderné, chemické a biologické ochrany) (**obr. 17**). Oba zdroje byly



Obr. 16: Křemíkový polovodičový detektor s definovaným implantovaným množstvím iontů chloridu rádia ( $^{226}\text{RaCl}_2$ ) přímo na mrtvé vrstvě detektoru. Zdrojem radonu je samotný detektor, který zároveň detekuje výsledné záření alfa

porovnány v rámci mezinárodního porovnání v PTB, ČMI a SÚJCHBO. Jako porovnávací parametr byl zvolen kalibrační faktor  $k$ . Na základě rešerše dostupné odborné literatury byl na porovnání vybrán radonový referenční detektor typu AlphaGUARD.

### In-situ metrologie pro vyřazování jaderných zařízení z provozu

Ve spolupráci několika evropských metrologických institutů, dalších výzkumných organizací a průmyslových



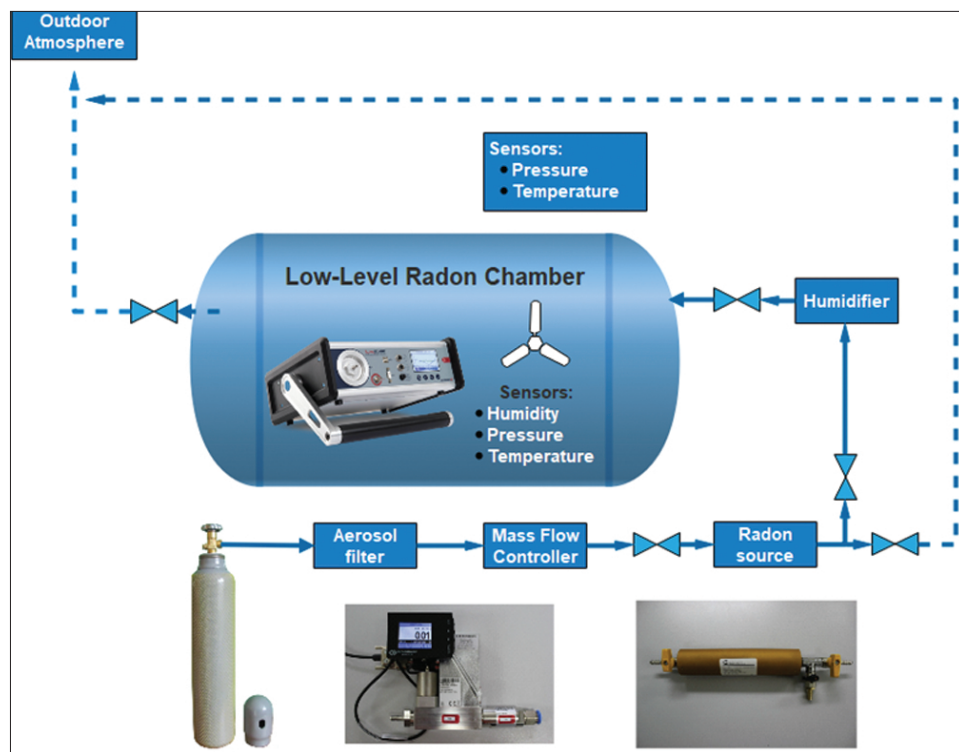
partnerů řeší tento EMPIR projekt jednu z nejvýznamnějších ekologických výzev, kterým čelí členské státy EU, a to bezpečné nakládání s pevnými odpady z jaderných zařízení při jejich vyřazování z provozu. Základem pro posouzení, zda je odpad nutno uložit v úložišti radioaktivních odpadů nebo jej

možno uvolnit do životního prostředí, je stanovení obsahu radionuklidů v odpadu. V rámci projektu byly vyvinuty metody pro třídění odpadů, jejich měření před uvolněním do životního prostředí a charakterizaci před uložením v úložišti radioaktivních odpadů. Byla vyvinuta, vyrobena a v praxi ověřena

zařízení pro spektrometrická měření odpadů na bázi scintilačních a germaniových detektorů, která umožní měření velkých objemů odpadového materiálu při splnění limitů a podmínek daných jadernými regulátory, a to s metrologickou návazností na primární etalony. Současně byly vyvinuty metody pro monitorování úložišť radioaktivních odpadů.

Na **obr. 18** je zařízení pro selekci a měření odpadů před uvolněním do životního prostředí. Zařízení obsahuje 4 plastické scintilační detektory, 4 germaniové detektory s mechanickým chlazením a 3 detektory pro měření neutronů, a speciální stínění vyrobené z nízko-pozadového betonu pro eliminaci vnějšího záření.

Na tento projekt navazuje další projekt EMPIR „20SIP02“, který má zajistit rozšíření vyvinutých měřicích technik do jaderného průmyslu.



**Obr. 17:** Odvážený standardizovaný roztok ve formě emulze solí mastných kyselin v silikonu. Zdroj je konstruovaný jako nerezový válec s kulovými ventily na koncích a dvěma aerosolovými filtry připojenými na výstupních otvorech ventilů. Zdroj je opatřen průtokoměrem



**Obr. 18:** Zařízení pro selekci a měření odpadů před uvolněním do životního prostředí

## KALIBRACE MIMO STÁLÉ PROSTORY LABORATOŘE

**Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.**

### Úvod

Kalibrace mimo stálé prostory akreditované laboratoře (AKL) u zákazníka (označované někdy jako kalibrace na místě, kalibrace na místě u zákazníka, nebo jen kalibrace u zákazníka, ale i on-site kalibrace) má své specifické požadavky a rizika, kterým je třeba porozumět. V akreditované laboratoři a její dokumentaci jim často nebývá věnována dostatečná pozornost. Cílem tohoto textu je upozornit na vybrané části této problematiky, hlavně pro oblast měření DC a LF elektrických veličin. Tento text není věnován práci v mobilní laboratoři, protože ta není u nás rozšířena ani tak, jak bývala dříve, a je spíše výjimečná. V případě, že je laboratoř držitelem akreditace i pro kalibrace u zákazníka, může takové kalibrační práce provádět.

Kalibrace v prostorách u zákazníka se často provádí na zařízení, která nelze vyřadit z provozu na několik dní najednou, nebo když je třeba kalibrovat součást výrobní linky i s možnými vlivy propojení na zařízeních, nebo na zařízení, která jsou příliš velká nebo křehká na to, aby mohla být odeslána do akreditované laboratoře. Další oblastí kalibrace v prostorách u zákazníka jsou potřeby kalibrací s co nejkratší dobou odstávky kalibrovaných zařízení a také je někdy podstatné kalibrovat v podmínkách co nejbližších pracovním podmínkám daného zařízení. Ideální kalibrací je měření úplného měřicího řetězce (snímače, spojovací kabely, napájecí zdroje, převodníky apod.).

Ačkoli ani norma ISO/IEC 17025 ani upřesňující dokumenty nestanovují žádné zvláštní technické požadavky na kalibrace v prostorách u zákazníka, existuje po celém světě jen minimum dokumentů, které poskytují určité pokyny k otázkám týkajícím se akreditace tohoto typu laboratoří a souvisejícím rizikům. Níže můžeme vidět některé z požadavků, které je třeba v takovém případě splnit, a laboratoř by se měla zamyslet nad jejich zařazením do řízené dokumentace, i když akreditační orgány běžně tuto oblast zanebávají a dostatečně neposuzují. Pokud jsou všechny kalibrace v prostorách u zákazníka prováděny v klimatizovaném prostředí, je odhad nejistoty pravděpodobně velmi blízký odhadu pro interní kalibrace akreditované laboratoře. Pokud však podmínky podléhají významným změnám, měří se speciálními etalony a za širších podmínek prostředí, pak se může nejistota měření výrazně lišit od nejistoty, kterou AKL dosáhne ve stálých prostorách (je horší).

### Kalibrace na místě u zákazníka

je kalibrace (i včetně odběru vzorků, pokud je součástí dokumentovaného postupu kalibrace) prováděná pověřenými pracovníky stálé laboratoře mimo prostory nebo pozemky, na kterých se nachází stálá laboratoř nebo kde se nachází stálá základna nebo ústředí organizace. Obvykle používá vybrané vybavení pracovními etalony ze stálé laboratoře a tím má určený rozsah měření a kalibrační schopnosti.

Tento text je věnován pouze specifikům problematiky rizik a příležitostí pro kalibrace na místě u zákazníka.

### Obecné požadavky pro kalibraci v prostorech u zákazníka

Rozsahy činností akreditovaných laboratoří jsou veřejně dostupné u příslušných akreditačních orgánů, ale jen některé akreditační orgány mají k dispozici údaje o kalibračních schopnostech v případě kalibrace mimo stálé prostory. Vždy je třeba kontrolovat, zda veličina i její potřebný rozsah spadají do oblasti měření uznané při akreditaci, včetně podmínek měření, (které mohou být u zákazníka jiné, než ve stálé laboratoři).

*Poznámka: V praxi se vyskytují častěji problémy s rozsahem činnosti laboratoře, který někdy bývá laboratoři udán širší, než jaký je ve skutečnosti. Laboratoř obvykle může udat takové body pod označením, že jsou mimo rozsah akreditace. Počet měřených bodů označených mimo rozsah akreditace v akreditovaném kalibračním listě není žádným předpisem omezen.*

### Politika jakosti

Politikou laboratoře je udržovat úroveň kvality popsanou v příručce jakosti i ve všech aspektech kalibrační práce v místě zákazníka, a pokud je to možné, pokračovat i zde ve zlepšování kvality.

Rozsah možností laboratoře pro kalibrace v prostorech zákazníka je obvykle jiný než ve stálých prostorách. Je to dáno tím, že pro práci u zákazníka se obvykle správně nepoužívají referenční etalony AKL (které mají být co nejméně namáhány, například dopravou k zákazníkovi) a pracuje se obvykle v širším rozsahu podmínek prostředí s méně přesnými etalony. Rozsah měření a příslušné CMC při práci u zákazníka je k dispozici v příloze k akreditaci (CMC) jen u některých akreditačních orgánů, u jiných zemí někdy nejsou samostatně popsány a zákazník je musí získat až při jednání o zakázce, u nás jsou nyní označovány hvězdičkou u čísla činnosti.

### Požadavky na proces

Laboratoř musí mít postup pro přezkoumávání poptávek, nabídek a smluv. Takový postup musí zajišťovat, aby:

- požadavky byly dostatečně definovány, dokumentovány a pochopeny,
- laboratoř měla schopnosti a měla prostředky pro splnění těchto požadavků,
- tam, kde jsou využíváni externí poskytovatelé, aby byly uplatněny požadavky normy a laboratoř informovala zákazníka o konkrétních laboratorních činnostech, které má provádět externí poskytovatel a získala jeho souhlas.

Pro interní nebo pravidelné zákazníky je možné provádět revize poptávek, nabídek a smluv zjednodušeně.

Laboratoř musí spolupracovat se zákazníky nebo jejich zástupci při objasňování požadavku zákazníka a při sledování výkonu laboratoře ve vztahu k vykonávané práci.



Taková spolupráce může zahrnovat:

- poskytnutí přiměřeného přístupu zástupce zákazníka do příslušných prostor laboratoře, aby mohl být svědkem pro zákazníka specifických laboratorních činností,
- přípravu, balení a odeslání položek, které zákazník potřebuje kalibrovat,
- záznamy o přezkoumávání, včetně všech významných změn, se musí uchovávat.

Nesmí být opomenuta úroveň pravděpodobnosti, pro kterou výsledky platí a tato musí být uvedena i v kalibračním listu, a to nejen pro měřené údaje, ale i pro vyjádření plnění specifikací.

Měřicí řetězce pro konkretizace přezkoumání měření u zákazníka vyžadují více podrobností. Potřebujeme znát:

- strukturu řetězce,
- typ a připojení snímače,
- jak je snímač dostupný,
- jaká je dostatečná délka kabelu, aby dosáhl k našemu měřicímu zařízení,
- jak vypadá zobrazení hodnoty (panelové měřidlo nebo PC; pokud je u měřicího řetězce daleko od místa měření, musí na kalibraci jet dva pracovníci),
- rozlišení údaje řetězce,
- požadovanou přesnost, aby bylo jasné, jaké vzít etalony a zda na to vůbec má laboratoř vybavení, atd.

Často je výhodné a vyžaduje se zaslání fotografie se zobrazením uvedeného. Opatření, sloužící k tomu, aby nedošlo ke kolizi s jinými procesy, způsob demontáže a odstávky zařízení musí zajistit zákazník.

Před započítáním kalibrací musí být zajištěna dostatečná čistota pracoviště, přístrojů i pomocných zařízení, odstranění konzervace, pokud byla pro uskladnění použita, a její nová správná aplikace po provedení prací, pokud je to požadováno.

Před započítáním kalibrací u elektronických zařízení s koaxiálními konektory musí být před provedením prací zajištěno čištění koaxiálních konektorů a kontrola jejich mechanických rozměrů.

## Nestrannost

Laboratorní činnosti se musí provádět tak, aby vyhovovaly požadavkům dokumentace, zákazníkům laboratoře, regulačním orgánům a organizacím poskytujícím uznávání. Zahrnovat to musí laboratorní činnosti ve všech trvalých prostorách laboratoře, v místech mimo její trvalé prostory, i v zařízeních zákazníka.

Je-li zjištěno ohrožení nestrannosti, laboratoř musí být schopna prokázat, jak se toto riziko eliminuje nebo minimalizuje i při práci u zákazníka. Riziko nestrannosti se minimalizuje při práci u zákazníka také zajištěním, že na pracovišti u zákazníka je eliminována přítomnost jiných osob, než je předem dohodnutý zástupce zákazníka.

Laboratoř musí pro práci u zákazníka:

- určit organizační a řídicí strukturu pracoviště laboratoře u zákazníka, její místo v mateřské organizaci a vztahy mezi managementem, technickým provozem a podpůrnými službami,

- stanovit odpovědnosti, pravomoci a vzájemné vztahy všech pracovníků, kteří řídí a provádějí nebo ověřují práci, mající vliv na výsledky laboratorních činností,
- dokumentovat své postupy v rozsahu nezbytném pro zajištění jednotného uplatňování svých laboratorních činností a platnosti výsledků.

Vedení laboratoře musí zajistit, aby probíhala komunikace ohledně efektivnosti systému managementu a důležitosti respektování požadavků zákazníků a dalších požadavků a byla zachována integrita systému managementu při plánování a zavádění jeho změn.

- Kalibrace v prostorech zákazníka musí být prováděna jen zaměstnanci stálé akreditované laboratoře.
- K zajištění uvedených úkolů má být předem definováno, kdo jedná za AKL a kdo jedná za zákazníka.

Pracovníci, jmenovaní pro kalibrace v prostorech zákazníka, musí dodržet následující:

- alespoň jeden člen kalibračního personálu musí zůstat v prostorech u zákazníka kalibrace v celé době průběhu kalibračních prací,
- v případě nezbytné nepřítomnosti v místě kalibrace musí personál AKL zajistit, aby údaje o zákazníkovi a laboratoři byly uloženy na bezpečném místě nebo byly odstraněny z místa kalibrace,
- v případě, že zákazník poskytne uzamykatelný prostor, ve kterém může být zařízení po dobu prací, musí se pracovníci kalibrace v prostorech zákazníka ujistit, že prostor je uzamčen v okamžiku, kdy nejsou přítomni,
- jmenovaní členové personálu laboratoře jsou zodpovědní za to, že zajistí, aby byly všechny technické a jakostní aspekty řízeny v souladu s požadavky příručky jakosti AKL a postupy pro kalibrace v prostorech zákazníka,
- jmenovaní členové personálu laboratoře jsou odpovědní přímo vedení stálé laboratoře.

## Důvěrnost

Pracovníci, včetně všech členů pracovních skupin, smluvních partnerů, pracovníků externích subjektů nebo osob jednajících jménem laboratoře, musí zachovávat důvěrnost veškerých informací získaných nebo vytvořených během provádění laboratorních činností. Laboratoř musí být odpovědná prostřednictvím právně vymahatelných závazků za správu všech informací získaných nebo vytvořených během provádění laboratorních činností. Obvykle laboratoř zpřístupní zákazníkovi své dokumenty kvality a kalibrační listy etalonů, kterými budou kalibrace provedeny. V případě, kdy se laboratoř a zákazník dohodnou (např. pro účely reakce na stížnosti), se všechny ostatní informace považují za chráněné informace a musí být považovány za důvěrné.

Není povoleno nikomu, kromě zástupce zákazníka a zástupce kalibrující AKL, pořizovat jakékoliv záznamy nebo foto pracoviště a prováděných prací. To je třeba formulovat už při přezkoumání smlouvy.

Pracovníci pověřeni kalibrací v prostorech zákazníka musí zajistit, aby byl zákazník obeznámen s tím, že s oblastí určenou pro jejich kalibrační práci bude zacházeno jako

s karanténní oblastí, do které může být zaměstnancům zákazníka odepřen přístup.

Kalibrační prostor může mít formu místnosti, která může být zajištěná, nebo to může být prostor vymezený výhradně pro kalibrační použití, například ve výrobní hale. To je poměrně snadné zajistit tam, kde zákazník dodává ke kalibraci samostatné přístroje.

Tento požadavek těžko uplatníme u měřicích řetězců tam, kde je na řídicím pracovišti řetězce kromě kalibrovaného zařízení ještě řada dalších zařízení, která musí vykonávat svoji práci. Ve výrobním procesu, při kalibraci jednotlivých linek, obvykle nelze zastavit celou výrobu a je nutné to řešit předem. V provozu s jednou směnou například může pomoci přesunutí kalibrace do klidného období (například odpoledne).

### Přezkoumání poptávek, nabídek a smluv

Příručka kvality popisuje obecná ustanovení a požadavky na hodnocení systému jakosti a je plně použitelná i pro všechny činnosti akreditované kalibrace v prostorech zákazníka. S odkazem na Příručku kvality musí být všechny činnosti kalibrace v prostorech zákazníka zahrnuty do programu celkové kontroly a hodnocení, který se používá pro stálou laboratoř, s následujícími doplňkovými požadavky:

- aby bylo zajištěno, že je aspekt kontrolních činností adekvátně řešen, měla by být část každé kontroly zaměřena i na kalibrace v prostorech zákazníka; přesný rozsah není záměrně pevně určen a měl by být stanoven v závislosti na celkovém podílu kontrolovaných činností,
- do kontrolního programu stálé laboratoře musí být zahrnuty dodatečné činnosti, aby byla zajištěna kontrola pracovníků provádějících kalibrace v prostorech zákazníka,
- procesy a kontroly pro všechny akreditované kalibrace v prostorech zákazníka musí být prováděny každoročně.

Vedoucí má odpovědnost za to, že všechny potřebné kroky vyplývající z procesu kontroly nebo hodnocení budou monitorovány co do postupu a dokončení. V případě potřeby mohou být na místo vyslány dodatečné kontroly, aby zajistily uspokojivé plnění požadovaných kroků.

Veškerá dokumentace používaná v prostorech u zákazníka musí být zabezpečena v okamžiku, kdy pracovníci pověřeni kalibrací v prostorech zákazníka kalibrací nejsou přítomni, a veškerá kalibrační nebo zákaznická data musí být přístupná pouze prostřednictvím softwaru, který vyžaduje vložení bezpečnostního uživatelského hesla.

### Etalony a kalibrace v prostorech zákazníka

Referenční etalon je podle mezinárodního slovníku metrologie VIM 4, bod 5.6 etalon navržený ke kalibraci dalších etalonů pro veličiny daného druhu v dané organizaci nebo v dané lokalitě. (Dříve se pro referenční etalon v organizaci používal termín „hlavní etalon“). Z definice tedy plyne, že referenční etalony jsou nejpřesnější etalony organizace a musí být uchovávány a používány v referenčním prostředí bez dalších možných vlivů, jako by byly například ořesy při dopravě. Referenční etalon se proto netransportuje, s výjimkou transportu k jeho rekalibraci (pokud to nelze zajistit

jinak). Použití referenčních etalonů pro práce u zákazníka je pro akreditovanou laboratoř nesprávné, protože mohou být nepředvídatelným způsobem zhoršeny jejich metrologické parametry. Pro kalibrace u zákazníka jsou vhodné etalony – kopie nebo méně přesné, ale odolnější pracovní etalony, zkonstruované pro toto použití. Pracovní etalony definované ve VIM 4, bod 5.7, se používají nejčastěji pro práci u zákazníka. Pokud je to možné, volí se etalony, které byly pro takové účely navrženy a mají vyšší mechanickou i klimatickou odolnost (pro elektrické veličiny je u mnoha nových typů etalonů obvyklá referenční teplota  $\pm 5^\circ\text{C}$ , která je snadno a běžně dosažitelná téměř ve všech kancelářích, laboratořích i dílnách zákazníka).

### Technické požadavky na etalony pro práci u zákazníka

V případě, že je vyžadována přeprava a použití etalonů v prostorách u zákazníka, volí laboratoř přednostně etalony se zvýšenou mechanickou a klimatickou odolností, pokud jsou k dispozici. Pracovníci, pověřeni ke kalibraci v prostorech zákazníka, musí prověřit, že kalibrační stav etalonů zůstává v platnosti po dobu trvání přepravy a použití a na dostatečně dlouhou dobu poté, aby mohly být provedeny veškeré požadované ověřovací kontroly, které potvrdí, že přepravou nebyly způsobeny na etalony žádné nežádoucí účinky. Pracovníci pověřeni kalibrací v prostorech zákazníka musí také zajistit, aby způsob přepravy neovlivnil kalibrační stav etalonů. Příslušné požadavky jsou uvedeny v postupu kalibrace, kterým se řídí doprava a kontrola použití etalonů.

Doprava etalonů musí zajistit jejich co nejmenší mechanické i klimatické namáhání. Pokud je to možné, dopravují se přednostně v odpružené a klimatizované kabině automobilu a v balení zajišťujícím mechanickou ochranu a tlumení otřesů. Pro kontrolu vlivu dopravy je obvyklé užití testů typu nazývaných test před a test po (test before-after).

V případě, že je vyžadováno uložení etalonů v prostorách u zákazníka, pracovníci pověřeni kalibrací v prostorech zákazníka musí zajistit vhodné skladovací prostředí.

### Pracovníci

Pouze zaměstnanci stálé laboratoře mohou být určení ke kalibraci v prostorech zákazníka. Nejsou stanoveny žádné případy, kdy by se mohli kalibračních postupů účastnit neliaboratorní zaměstnanci. Laboratoř musí zajistit, aby i pracovníci, pracující u zákazníka, měli kompetenci pro provádění laboratorních činností, za které odpovídají, a musí vyhodnotit dosah odchylek. Vedení laboratoře musí informovat pracovníky o jejich povinnostech, odpovědnostech a pravomocích.

Pokud se jedná o měření s možným výskytem nebezpečného elektrického signálu, musí mít provádějící pracovník platné osvědčení podle vyhlášky č. 50/1978 Sb., o odborné způsobilosti v elektrotechnice, a zaměstnavatel je povinen organizovat práci a stanovit pracovní postupy tak, aby byly dodržovány zásady bezpečného chování na pracovišti tak, aby zaměstnanci na pracovišti se zvýšeným rizikem nepracovali osamoceni bez dohledu dalšího zaměstnance, pokud jejich ochranu nezajistí jinak (viz ustanovení § 5



odst. 1 písm. e) zákona č. 309/2006 Sb., o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, ve znění pozdějších předpisů).

Všichni zaměstnanci určení pro kalibrace v prostorech zákazníka musejí být vybíráni pro danou oblast. Musí být vyškoleni a mít záznamy o školení, kterými mohou prokázat své schopnosti v požadované oblasti, a nesmí vykonávat tyto práce, pokud nejsou pověřeni jak laboratoří, tak v rámci akreditace, a musí dodržovat i požadavky zákazníka, které byly definovány pro práci v jeho prostorech.

### Prostory a podmínky prostředí mimo prostory stálé laboratoře

Opatření pro kontrolu prostor se musí zavést, sledovat a pravidelně přezkoumávat a musí zahrnovat mimo jiné:

- přístup do prostor ovlivňujících etalony a laboratorní činnosti a jejich využívání,
- zabránění kontaminaci, interferencím nebo nepříznivým vlivům na laboratorní činnosti,
- efektivní oddělení prostor s neslučitelnými laboratorními činnostmi,
- nutnost je nejen najít vhodné prostředí u zákazníka, možnosti dopravy kalibrovaných zařízení na místo kalibrace, ale i zajistit pohyb pracovníků po organizaci zákazníka a v nezbytném rozsahu (dohodnuté pracoviště, WC, obědy) i seznámit pracovníky AKL s potřebnými předpisy organizace zákazníka, hlavně s požárními a s bezpečnostními,
- zajistit potřebné propustky pro rozsah pohybu pracovníků AKL u zákazníka,
- zajistit potřebné a dokumentované proškolení z bezpečnostních a požárních směrnic zákazníka.

Pokud laboratoř provádí laboratorní činnosti na místech nebo zařízeních mimo její trvalou kontrolu, musí zajistit, že splňují požadavky týkající se prostor a podmínek prostředí v celé době, kdy jsou prováděny kalibrace.

Pro každý parametr, který je zvažován pro kalibrace v prostorech zákazníka, musí existovat kontrolní postup. Každý postup musí vymezovat přijatelné podmínky prostředí v místě, ve kterém má být prováděna kalibrační práce. V případě zjištění, že daný prostor nesplňuje tato kritéria, musí pracovníci pověřeni kalibrací v prostorech zákazníka konzultovat situaci se zákazníkem, aby se stanovila a odstranila příčina nebo aby zákazník poskytl jiné vhodné prostory. Pokud to není možné, pracovníci pověřeni kalibrací v prostorách u zákazníka musí informovat zákazníka i stálou laboratoř před tím, než svou návštěvu u zákazníka zruší. V případě, že zákazník není schopen poskytnout přijatelné náhradní místo a stálé laboratoři se také nepodařilo vyjednat vhodnou náhradu, pak musí být pracovníci pověřeni kalibrací v prostorech zákazníka odvoláni.

Teplota se kontroluje před, při i po provedení kalibračních prací. Doporučuje se změřit a zaznamenat síťové napětí. Pohovorem se zadavatelem kontrolujeme, že použitá síťová přívodka a zemní přívod nejsou shodné s výrobními výkony rozvody, na kterých se může vyskytovat rušení.

Mimo běžné požadavky se kontroluje:

- pracoviště nemá být nikdy osluněno,
- síťová přípojka nemá být společná s výkonovými technologickými zařízeními, zejména pokud obsahují elektronickou regulaci,
- pracoviště nesmí být v blízkosti zařízení na indukční ohřev, pro kování, velkých lisovacích strojů,
- pracoviště nesmí být v blízkosti vysílačů a směrových spojů (např. fm a tv, je třeba kontrolovat směřování antén zdrojů rušení),
- blízkost ulice s tramvaji nebo elektrifikované železnice může indukovat rušení do zemní svorky.

Pokud je pracoviště umístěno ve vyšším podlaží, kontrolujeme navíc:

- pracoviště nesmí být přímo v ose vysílačů mobilních operátorů (cca do 100 m),
- pracoviště nesmí být přímo v ose směrových pojítek (parabolické antény).

*Poznámka: V blízkosti letišť se může projevoval pomalu periodicky se opakující rušení od přistávacích radiolokátorů, související s otáčením jejich antény.*

### Vybavení

Pracovníci pro kalibrace v prostorech zákazníka musí zajistit, aby žádné neoprávněné osoby nemohly používat kalibrační zařízení, které je v prostorách u zákazníka. Dále musí zajistit, aby veškeré zařízení v případě jejich nepřítomnosti zůstalo vypnuté nebo neaktivní nebo bylo uzamčené na bezpečném místě.

Příslušné požadavky jsou uvedeny v postupu kalibrace, kterým se řídí použití zařízení, ale často bude ještě třeba vyžadovat buď křížovou kontrolu vůči referenčním etalonům na straně zákazníka (pokud existují), nebo kontrolu ve stálé laboratoři před a po použití v prostorách u zákazníka.

V případě zjištění, že u některého zařízení selhala ověřovací kontrola, musí být postupováno tak, že:

- Provoz zařízení může být obnoven pracovníky pověřenými kalibracemi v prostorech zákazníka kalibrací, aniž by byl ovlivněn jeho kalibrační stav nebo integrita, pak se provoz obnoví a práce pokračují. Toto je přijatelné v případě, že je problém způsoben například vybitím baterií, přerušeným kabelem a podobně.
- Zařízení nemůže být uvedeno zpět do provozu, aby jeho integrita a stav zůstaly zajištěné, pak je možné povolat náhradní zařízení ze stálé laboratoře, kde je takové zařízení k dispozici a tvoří součást inventáře zařízení vhodných pro použití pro kalibrace v prostorech zákazníka.
- Zařízení nemůže být uvedeno zpět do provozu a žádné náhradní není k dispozici, pak pracovníci pověřeni kalibrací v prostorech zákazníka zajistí přesunutí práce na jiný termín.

### Pomocná zařízení.

Podle druhu kalibrované veličiny by měla akreditovaná laboratoř mít s sebou i rezervní součásti a základní nářadí.

Kalibrační laboratoř pro kalibraci ss a nf elektrických veličin, která kalibruje převážně DMM, například má obvykle s sebou:

- pro přístroje napájené z baterie rezervní bateriové monočlánky typu AA a AAA a baterie 9V (které jsou běžně užívané pro kapesní DMM),
- rezervní sadu měřicích kabelů,
- rezervní sadu síťových kabelů,
- přístrojové trubičkové pojistky pro elektrické a elektronické přístroje a zařízení,
- speciální pojistky do obvodu měření proudu malých multimetrů (se zhasením vloženým pískem),
- síťovou rozvodnou lištu, pokud možno s filtrem a vypínáním.

Pro práci mimo stálé prostory, pokud jsou užívány elektrické a elektronické přístroje a zařízení, je vždy třeba, aby kalibrační laboratoř vozila s sebou i sadu náhradních trubičkových přístrojových pojistek. Přístrojové pojistky jsou pro svoji jednoduchost a prostorovou nenáročnost všeobecně používány k ochraně měřicích přístrojů a elektronických zařízení. Přístrojovou pojistku tvoří skleněná trubička s kontaktními čepičkami, které jsou uvnitř pojistky spojeny tavným drátkem. Přístrojové pojistky jsou vyráběny pro proudy od 0,032 do 20 A. Pro různé aplikace jsou vyráběny přístrojové pojistky s různými časovými vypínacími charakteristikami (tj. různé časy přetavení drátku v závislosti na proudu). Rychlé pojistky jsou používány pro ochranu citlivé elektroniky. Pojistky pro jednotlivé proudové hodnoty jsou rozměrově stejné, proto je třeba dbát na to, aby byla v případě potřeby vyměněna pojistka stejné hodnoty i typu rychlosti vypínání. Záměnou za pojistku vyšší hodnoty může dojít nejen k poškození přístroje, ale i k ohrožení bezpečnosti.

Trubičkové pojistky konstruované speciálně pro jištění při přetížení proudových obvodů měřicích přístrojů jsou plněny pískem ke zhasení možného oblouku a jsou mnohonásobně dražší. Mají napěťové, proudové i časové charakteristiky nastavené tak, aby zamezily zničení jištěného měřicího přístroje, a nesmí se nahrazovat běžnými typy pojistek.

Kalibrační laboratoř vf elektrických veličin, která kalibruje převážně měřiče výkonu a útlumové členy, vozí obvykle s sebou:

- koaxiální kabely s příslušnými konektory,
- přechody koaxiálních konektorů,
- chrániče konektorů,
- náhradní koaxiální díly,
- doporučuje se uvážít použití oddělovacích konektorů nebo členů,
- sadu pro kontrolu mechanických rozměrů vf konektorů (je to důležité!),
- přípravky pro podložení sond měřičů výkonu (sonda nesmí při měření viset na konektorech),
- momentové klíče pro přesné utahování pro náročnější typy vf konektorů.

Vždy má pracoviště mít k dispozici:

- prostředek na čištění a odmaštění (isopropylalkoholový),
- hadřík z mikrovlákn na čištění,

- teploměr (s vlhkoměrem),
- psací potřeby,
- notebook s celou potřebnou dokumentací.

### Zajištění platnosti výsledků

Laboratoř musí mít postup pro monitorování platnosti výsledků. Výsledná data se musí zaznamenávat tak, aby umožňovala zjišťování trendů, a tam, kde je to použité, aby byly používány statistické techniky k přezkoumávání výsledků. Toto monitorování musí být plánováno a přezkoumáváno a musí případně zahrnovat (ale neomezuje se pouze na to):

- používání referenčních materiálů nebo materiálů pro řízení kvality,
- použití alternativního přístrojového vybavení, které bylo platně kalibrováno, aby poskytovalo návazné výsledky,
- funkční kontrolu (kontroly) měřicích a zkušebních zařízení,
- použití kontrolních nebo pracovních etalonů spolu s regulačními diagramy tam, kde je to možné,
- průběžné kontroly měřicího zařízení,
- opakované zkoušky nebo kalibrace pomocí stejných nebo různých metod,
- hodnocení korelace výsledků pro různé charakteristiky položky,
- testy etalonů před a po kalibraci (tzv. testy before-after) k potvrzení stability etalonu,
- soustavné přezkoumávání uváděných výsledků,
- intralaboratorní porovnání (viz norma ISO/IEC 17025:2017) nebo kontrolní měření referenčních vzorků.

### Požadavky na kalibrační listy

Příručka jakosti popisuje standardní požadavky na obsah kalibračních listů. Na kalibrační listy vydané pro kalibrace v prostorech zákazníka se vztahují také následující podrobnosti:

- dostatečně podrobná a jednoznačná identifikace místa, kde byla kalibrace provedena, spolu s dalšími relevantními údaji, jako je umístění kalibrovaného předmětu,
- jakékoli speciální požadavky zákazníka na kalibraci musí být uvedeny,
- údaje o podmínkách prostředí, ve kterém byla kalibrace provedena, musí být vztaženy k uvedenému místu kalibrace.

Doporučuje se, aby laboratoř provádějící kalibrace u složitějších měření archivovala i fotografie umístění zařízení a vedení přívodů při kalibraci. Tím ale není omezen požadavek, že při kalibraci u zákazníka nesmí libovolná třetí strana pořizovat nekontrolovanou fotodokumentaci.

### Zacházení se zkušebními a kalibračními položkami

Laboratoř musí mít postup pro přepravu, příjem, zacházení, ochranu, skladování, uchovávání a likvidaci nebo navrácení zkušebních nebo kalibračních položek, včetně všech opatření potřebných pro zachování integrity zkušební



či kalibrační položky a k ochraně zájmů laboratoře a zákazníka. Musí se podnikat taková opatření, aby se zabránilo znehodnocení, kontaminaci, ztrátě nebo poškození položky během manipulace, přepravy, skladování/pozdržení a přípravy na kalibraci. Musí se dodržovat manipulační pokyny podle dokumentace poskytované s položkou.

Pracovníci pověřeni kalibracemi v prostorech zákazníka musí zajistit, aby kalibrační prostory měly dostatek místa k tomu, aby nedokončená práce mohla být uložena předtím i poté, co se na předmětu pracuje. Je potřeba se zákazníkem učinit vhodná opatření k tomu, aby bylo zajištěno dodání kalibrovaného předmětu na pracovní místo a jeho odebrání po dokončení kalibrace. V případě, že je celkový počet předmětů malý, pak pracovníci pověřeni kalibrací v prostorech zákazníka mohou vzít a odnést předměty na místo kalibrace, nicméně pokud není tato činnost součástí smlouvy, pak je obvykle za takový postup odpovědný zákazník.

Na všechny kalibrace v prostorech zákazníka se vztahují stejné požadavky. Všechny kalibrační práce u zákazníka jsou řízeny řadou postupů pro kalibrace v prostorech zákazníka, které jsou vydávány pro tento účel jako dodatek k základním kalibračním postupům. Individuální postupy pro kalibraci u zákazníka musí být nastaveny pro každou veličinu a etalon, který je používán pro práce u zákazníka, ve které je laboratoř udělena akreditace.

Postupy pro kalibrace v prostorech zákazníka vyžadují zdokumentovanou dohodu se zákazníkem, že prostory místa určeného k práci jsou v souladu s požadavky stanovenými v dokumentaci.

Řízení identifikace jednotlivých prací a položek probíhá skrze systém laboratoře, který bude využit pro generování úvodní identifikace kalibrace v prostorech zákazníka a poté aktualizován o údaje jednotlivých položek po dokončení práce.

Stav předmětů určených ke kalibraci v prostorách u zákazníka musí být hodnocen před a během kalibrace a v případě zjištění, že předměty jsou vadné nebo poškozené, musí zástupce laboratoře informovat zákazníka o nálezů a počkat na další instrukce před pokračováním práce.

### Přístup na místa kalibrace u zákazníka

Laboratorní zaměstnanci pověřeni provádět kalibrace v prostorech zákazníka musí zajistit, aby měl zákazník povolen přiměřený přístup do prostoru kalibrace tak, aby nedošlo k žádnému zásahu do kalibračních prací. Vedoucí akreditované laboratoře musí zajistit, aby vyslaný pracovník v případě, že musí pracovat v oblasti nebezpečných signálů (například nebezpečného napětí) nepracoval z důvodu bezpečnosti jako osamělý pracovník.

V případě potřeby sjedná laboratoř přístup do prostoru kalibrace pro dodatečný personál, jako jsou například zástupci akreditačních orgánů a bezpečnostních a požárních kontrol. Takový přístup je vyjednáán pro zákazníka v případech, kdy zákazník není zároveň vlastníkem prostor kalibrace.

### Možnosti odhadu a řešení rizik a příležitostí

Laboratoř musí brát v úvahu rizika a příležitosti související s činnostmi laboratoře u zákazníka, aby:

- zajišťovala, že systém managementu dosahuje svých zamýšlených výsledků,
- posilovala příležitosti, jak dosahovat záměry a cíle laboratoře,
- zabráňovala nežádoucím dopadům a potenciálním selháním laboratorních činností nebo je snižovala,
- dosahovala zlepšení.

Laboratoř musí:

- plánovat, ustavit, zavést, provádět a udržovat program auditů i u zákazníka zahrnující četnost, metody, odpovědnosti, požadavky na plánování a podávání zpráv,
- program auditů musí zohlednit význam dotčených laboratorních činností, změny týkající se laboratoře a výsledky předchozích auditů,
- stanovit kritéria auditu a rozsah pro každý audit,
- zajistit, aby výsledky auditů byly hlášeny příslušnému managementu,
- zavádět bez zbytečného odkladu náležitě opravy a nápravná opatření,
- uchovávat záznamy jako důkaz o realizování programu auditů a záznamy o výsledcích auditů.

Všichni zaměstnanci musí za všech okolností vykonávat akreditované kalibrační práce v prostorách u zákazníka v souladu s požadavky normy ISO/IEC 17025:2017.

Je nutné zohlednění rizik a příležitostí. Rizika z hlediska práce kalibrační laboratoře u zákazníka mohou být například:

- nesprávné prostředí,
- neidentifikovaný zdroj rušení,
- doprava na místo u zákazníka (ta může mít vliv na parametry etalonů, je třeba ji zajistit se sníženým transportním namáháním pro minimalizaci transportního rizika; je třeba zajistit možnost kontrolovat etalony testy typu před a po kalibraci (pomocí testů before-after),
- u kratší odstávky zařízení je nutno velikost rizika posoudit individuálně,
- delší odstávka zvyšuje rizika vždy, proto je nutno ji prověřit a optimalizovat.

### Závěr

Požadavky a rizika při kalibraci v prostorech u zákazníka mohou být velmi různorodé a náročné. Proto by jim měla každá AKL věnovat přiměřenou pozornost a zajistit odpovídající přípravu i provedení kalibrace a už předem uvážit i možná rizika specifická pro práce u zákazníka. Předkalibrační etapa je velmi významná a silně ovlivňuje i konečný dosažitelný výsledek. Je třeba si uvědomit, že velmi často je zákazník reprezentován jen pracovníkem, pověřeným organizací zakázky, bez podrobnějších znalostí metrologických potřeb. Proto pro přezkoumání poptávky musí být při kalibraci v prostorech u zákazníka dobře připravena hlavně kalibrační laboratoř, aby zajistila úplnost přípravy bez zbytečných rizik. To usnadňuje respektování výše v článku uvedených poznatků.

## PRINCIPY KALIBRACE V OBORU TLAK

Ing. Martin Valenta

Český institut pro akreditaci, o.p.s.



Článek shrnuje informace k výsledku řešení úkolu Programu rozvoje metrologie (PRM) v roce 2021 č. VII/05/21 Principy kalibrace v oboru tlak. Tento úkol navazoval na obdobný úkol z předchozího roku, věnovaný principům kalibrace v oboru základních elektrických veličin. Součástí jeho řešení byl teoretický rozbor tvorby a skladby principů kalibrace, zamýšlený jako základ pro obdobné úkoly v dalších oborech měření. Tyto základy byly využity i při řešení úkolu PRM věnovaného oboru tlak. Protože se v tomto oboru lze často setkat s velmi rozdílnou kvalitou překladů do angličtiny, dalším cílem úkolu bylo sestavení přehledu nejdůležitějších termínů s jejich anglickými ekvivalenty.

## 1. Úvod

Na stránkách časopisu Metrologie byly v předchozích letech publikovány články, věnované výsledkům úkolů PRM, které řešil Český institut pro akreditaci. V letech 2017 až 2019 se jednotlivé úkoly zaměřily na sjednocování přístupu laboratoří ke stanovování nejistot především pro účely CMC. Vzhledem ke změně normy ČSN EN ISO/IEC 17025 v roce 2018 došlo ke změně přílohy osvědčení o akreditaci (POA), kam kromě změn formátování přibyla informace o principu kalibrace, a proto se další úkoly zabývají právě tímto tématem. První z dosud realizovaných úkolů, věnovaný oboru elektrických veličin, zahrnoval i přehled zásad, které jsou základem pro správnou formulaci principu kalibrace. Tyto zásady jsou využity i ve zde popsaném úkolu PRM VII/05/21, zaměřeném na obor tlak. A protože se v tomto oboru často používají nejednotné překlady použitých termínů do angličtiny nebo naopak z angličtiny do češtiny, bylo zadání úkolu doplněno o sestavení základního přehledu ekvivalentních termínů v obou jazycích.

## 2. Zadání

Protože řešený úkol navazoval na obdobný úkol zpracovaný v předchozím roce, bylo jeho zadání do jisté míry opakováním z předchozího roku, modifikované vzhledem k jinému oboru a jeho specifikům.

Cílem úkolu bylo představit přehled nejužívanějších principů (metod, postupů), reálně používaných v laboratořích při kalibraci tlaku, a na tomto základu vytvořit vhodné texty, které kalibrační laboratoře mohou použít pro své POA. Formulace principů pochopitelně vycházejí z pravidel, nastavených úkolem PRM č. VII/05/20. Jak bylo zmíněno výše, doplněn je přehled základních termínů, které se v oboru používají, k nimž jsou přiřazeny anglické ekvivalenty, aby nedocházelo k nejednoznačným nebo dokonce nesprávným překladům, především z češtiny do angličtiny.

## 3. Požadavky na POA

Smyslem zpracovávaných úkolů není snaha omezovat ani unifikovat činnost kalibračních laboratoří, podstatou je sjednotit názvy nejběžněji používaných postupů, metod nebo principů při kalibraci tak, aby v každém oboru vyjadřoval stejný text totožnou nebo prakticky stejnou činnost. To je důležité proto, aby zákazník mohl POA plně využít. Uvedení principu dává laboratoři možnost kalibrace i jinými postupy, které byly řádně posouzeny a laboratoř je uvádí v rozsahu svých činností podle požadavků čl. 5.3 ČSN EN ISO/IEC 17025:2018.

Požadavky na informace zveřejňované o akreditovaném subjektu uvádí harmonizovaná norma ČSN EN ISO/IEC 17011:2018 v kapitole 7, konkrétně v čl. 7.8.3 c). Stejně požadavky uvádí i dokument ILACP14:09/2020 Politika ILAC pro nejistoty při kalibraci v článku 4, resp. 4.1. Jedním z požadavků je „**metoda nebo postup kalibrace nebo měření a typ přístroje nebo materiálu, který je kalibrován nebo měřen**“. Formálně lze tento požadavek naplnit uvedením dokumentu, který kalibraci popisuje, tím ovšem čtenář nezíská informaci, kterou lze reálně využít. Ostatní údaje (především typ kalibrovaného přístroje) většinou uváděny byly a v řadě případů měla informace o kalibrované veličině dostatečnou vypovídací schopnost. V aktuální verzi POA je v souladu s požadavky normy typ kalibrovaného přístroje vyžadován, ovšem míra podrobnosti či přesnosti dává možnost popsat typ nebo skupinu typů kalibrovaného přístroje buďto velmi přesně, nebo naopak použít velmi obecný popis měřidel, např. pokud jsou možnosti kalibrovat tyto přístroje dány pouze veličinou (například zdroje, resp. měřidla stejnosměrného napětí). V kombinaci s principem kalibrace by mělo být zcela zřejmé, co a jak laboratoř kalibruje a zda veličinu při kalibraci generuje, měří, porovnává atd.

Na webových stránkách ČIA je k dispozici podrobný návod k vyplnění přílohy žádosti č. 3. Tato příloha je prakticky totožná s POA. Vlastní šablona přílohy má formátování nastavené v souladu s návodem. Respektování šablony a návodu dává laboratoři možnost připravit návrh přílohy osvědčení o akreditaci bez zbytečných nedostatků.

Návod popisuje pravidla pro konstrukci přílohy osvědčení o akreditaci, která se věnuje nejen obsahu přílohy, ale také stránce formátování, protože to významně ovlivňuje možnost pochopení obsahu i případné další zpracování informací z POA.

## 4. Princip kalibrace

Princip kalibrace má s dalšími informacemi v CMC tabulce podat potenciálnímu zákazníkovi základní informaci pro jeho rozhodnutí, zda s danou laboratoří vstoupit do jednání, protože je pravděpodobně vhodná a zřejmě schopná splnit jeho požadavky. Princip kalibrace je součástí komplexní informace, tvořené nejen kalibrovanou veličinou



a předmětem kalibrace, identifikací postupu a pracovištěm, na němž se daný postup provádí, ale chybět nesmí ani konkrétní rozsah měření s přidruženou nejistotou, v tomto případě nejlepší dosažitelnou. Zde je vhodné poznamenat, že **z hlediska vlastního měření je hodnota nejistoty uváděná na příloze osvědčení o akreditaci *de facto* ta nejhorší hodnota z daného rozsahu**. Zdánlivý paradox má jednoduché vysvětlení, které vychází z definice CMC – nejlepší schopnost kalibrace a měření. V této definici chybí podstatné slovo: „zaručená“. V daném rozsahu je laboratoř schopna dosahovat různých hodnot nejistot, přičemž z těch nejlepších se na příloze osvědčení o akreditaci objeví ta nejhorší. Tím je zaručeno, že uvedené hodnoty nejistoty je laboratoř schopna dosáhnout v celém deklarovaném rozsahu.

Princip kalibrace doplňuje ostatní informace a musí s nimi být v souladu. Stejně jako nelze uvádět měřenou hodnotu např. v kilometrech a její nejistotu v hodinách, nelze ani v případě principu uvádět porovnání, když je předmětem kalibrace měřidlo a kalibrační laboratoř ke kalibraci používá zdroj kalibrované veličiny (generuje ji). Lze říci, že kalibrační laboratoř při kalibraci svým etalonem veličinu buď **generuje (realizuje)**, nebo ji **měří**. Takovou realizaci v oboru délka je např. koncová měřka, proto při kalibraci měřidel délky koncovými měrkami musí jít o **měření** (této realizace čili koncové měřky). Naopak pokud ke kalibraci koncové měřky použije laboratoř komparátor a měrku s lepšími metrologickými parametry, jde o **porovnání**. V tomto duchu by měl být konstruován každý princip v příloze osvědčení o akreditaci.

## 5. Principy kalibrace v CMC tabulkách pro obor tlak

Ve zprávě z řešení úkolu je uveden přehled všech akreditovaných laboratoří v ČR, které se kalibracemi tlaku zabývají. Přehled se zaměřuje na předměty kalibrace a k nim přiřazené principy (ve stavu k okamžiku zpracovávání zprávy). V přehledu jsou komentovány především principy ve vztahu k předmětu kalibrace, popsány jsou přednosti a nedostatky jednotlivých POA. Za zmínku stojí např. konstatování, že popis použití měřidla nepatří do POA nebo že chybí informace o tlakovém režimu, naopak pozitivně je hodnoceno uvedení tlakového režimu podle vztahu k uváděné nejistotě ve formě parametru nebo naopak k předmětu kalibrace. Tímto způsobem má kalibrační laboratoř možnost pracovat s rozsahem akreditace tak, aby zákazník správně pochopil její možnosti.

Nepovšimnuta nezůstává ani varianta, kdy laboratoř formuluje předmět kalibrace tak, že vylučuje analogové převodníky tlaku, což dovoluje dvojí výklad. Prvním je ten, že nebyla použita správná formulace a jedná se vlastně o opomenutí. Druhý výklad naopak předpokládá záměrné vynechání pro situaci, kdy laboratoř analogové převodníky tlaku z nějakého důvodu nekalibruje.

## 6. Kalibrovaná veličina a předmět kalibrace

V aktuálně platných přílohách osvědčení o akreditaci lze najít velmi rozdílná označení předmětů kalibrace. Evropský

přístup není nejlepším vodítkem, protože nevykazuje významně vyšší jednotnost. Ve zprávě z úkolu jsou pro ilustraci uvedeny informace z příloh osvědčení o akreditaci několika evropských akreditačních orgánů. Inspirativní, protože jednoduché a výstižné, je rozdělení tlakoměrů, které využívá britský UKAS. Při výběru termínů popisujících předmět kalibrace je potřeba najít kompromis mezi jednoduchou kategorizací, výstižností a stručností a na druhé straně podrobným rozpisem typů tlakoměrů a popisem konkrétních aplikací.

Doporučené základní rozdělení měřidel tlaku:

- deformační tlakoměry,
- elektromechanické tlakoměry (snímače tlaku, převodníky tlaku, číslicové tlakoměry) a
- pístové tlakoměry.

Je nesporné, že v oboru existují i jiná měřidla, pro která je uvedený výčet nedostačující, ale ta jsou používána zřídka a jejich kalibraci se prakticky žádná akreditovaná kalibrační laboratoř v ČR nezabývá.

Význam správně popsaného předmětu kalibrace je v tom, že kalibrační laboratoře mohou právě popisem předmětu kalibrace velmi dobře řídit rozsah kalibrovaných měřidel. Vhodně zvolené názvy dávají laboratoři možnost kalibrovat velmi široké spektrum přístrojů. Současně může kalibrační laboratoř toto spektrum významně omezit tím, že uvede jen vybranou podskupinu z jedné nebo více kategorií, v extrémním případě může omezení být vyjádřeno jediným konkrétním typem a modelem kalibrovaného přístroje.

Následně se zpráva z úkolu zabývá jednotlivými skupinami měřidel z pohledu norem, které se k nim vztahují. V samostatných podkapitolách jsou uvedeny jednotlivé typy měřidel doplněné stručným výčtem termínů používaných v jednotlivých normách. Jsou tak zřejmé rozsah i zdroje terminologie používané v POA.

## 7. Reálně používané principy kalibrace

Po stručném úvodním výčtu a vysvětlení praktických rozdílů mezi principem, metodou a postupem se kapitola zprávy věnuje analýze situace v oboru kalibrací tlakoměrů a porovnání situací při kalibracích s výstupem z úkolu PRM 5/VII/20, který definoval základy pro správnou formulaci principů kalibrace. Ty vycházejí z toho, že v kalibračních laboratořích se kalibrovaná veličina buď měří, nebo generuje (realizuje). Pokud má předmět kalibrace stejný charakter jako etalon, kalibruje jej laboratoř porovnáním. Pokud je předmět kalibrace charakteru opačného, kalibrační laboratoř měří, má-li měřidlo, případně generuje, pokud má zdroj (realizaci) veličiny. Zpráva z tohoto úkolu současně řeší vztah kalibrované veličiny a veličiny, která se při kalibraci měří, tedy zda se jedná o přímý nebo nepřímý vztah. Pro obor elektrických veličin jsou principy rozebírány do dalších podrobností, aby byly pokryty možné typy a varianty kalibrací, v oboru tlaku je situace jiná.

Výsledkem analýzy ve zprávě z tohoto úkolu je konstatování, že vzhledem k charakteru kalibrací v oboru tlak je rozlišování mezi měřením a generováním nadbytečné,

a dále, že přesné rozlišování, zda se jedná o přímé či nepřímé měření či porovnání, může být dokonce zavádějící. Za vhodný princip proto lze označit porovnání s etalonovým tlakoměrem za podmínky, že je etalon definovaný přesněji. Výsledným textem může být např. porovnání s pístovým tlakoměrem, porovnání s kalibrátorem tlaku, porovnání s číslicovým tlakoměrem apod. V této kapitole zprávy jsou zmíněny i další, méně obvyklé metody.

## 8. Parametry měřené veličiny

V další části se zpráva jednotlivě věnuje důležitým parametrům, které mají vliv na kalibraci tlaku, a skutečnosti, nakolik je nutné nebo vhodné je uvádět v POA. Podstatným parametrem je tlakové médium, obvykle plynné nebo kapalné. Správnou charakteristikou média může laboratoř jednoznačně definovat rozsah typů měřidel, která kalibruje. Dalším parametrem je tlakový režim. Zpráva vysvětluje rozdíl mezi absolutním tlakem, přetlakem a diferenčním tlakem i vztah k pojmu podtlak a vhodnosti jeho používání. Za nevhodný je považován termín relativní tlak. Posledním z probíraných termínů je obecné označení vakuum, kdy často není definováno, zda jde o nízký absolutní tlak, nebo podtlak. Vakuum ovšem nebylo předmětem tohoto úkolu a autoři se mu dále nevěnují.

## 9. Nejnížší udávaná rozšířená nejistota měření

Hodnoty nejistoty měření při kalibraci tlakoměrů jsou standardně uváděny stejně jako u všech ostatních oborů. CMC nejistoty jsou uváděny buď ve formě hodnoty relativní vůči měřené hodnotě, jako absolutní hodnota ve stejné jednotce, nebo jako jejich kombinace, tedy součet obou těchto složek. V tlaku je nutné používat jednotky tlaku Pa, kPa, MPa, přípustné jsou jednotky bar, mbar. Používání dalších jednotek tlaku v POA se nedoporučuje (viz přílohy ČSN ISO 800004). Protože nejmenší udávaná nejistota měření obsahuje standardně i příspěvek nejlepšího existujícího zařízení, musí být jednoznačně identifikovány případy, kdy tomu tak není, což je typicky případ laboratoří kalibrujících pouze deformační tlakoměry.

## 10. Kalibrační postup a jeho identifikace

Označení kalibračního postupu obvykle závisí na zvyklostech kalibrační laboratoře a obvykle se skládá z písmenného kódu doplněného číslem. Často je používána zkratka KP (kalibrační postup), lze se ale setkat s označením, které je součástí rozsáhlejšího systému. Označení daného dokumentu zákazníkovi ovšem přináší pouze jedinou informaci, a to, že daný postup byl zařazen do rozsahu akreditace; význam má pro potřeby akreditace.

Obsah dokumentu, kde je postup kalibrace popsán, by měl vycházet z mezinárodně uznávaných postupů, popsáných v obecně platných dokumentech (především EURAMET cg17 a EURAMET cg3). V některých zahraničních osvědčeních o akreditaci se odkaz na takový dokument uvádí v poznámkách, někdy přímo konstataváním souladu postupu se zmíněnými dokumenty. V kapitole je uveden i přehled dalších dokumentů, souvisejících

s kalibrací tlakoměrů. Konkrétní postupy v nich uváděné jsou porovnávány z pohledu jednotlivých parametrů – kalibrovaných tlakoměrů, teplotě při kalibraci nebo zkoušení, požadavku na rozcvičení před kalibrací, počtu kalibrovaných bodů a měřicích cyklů a dalších. Údaje uváděných dokumentů se mírně liší, za zásadní dokument pro kalibraci elektromechanických tlakoměrů lze považovat EURAMET cg17. V případě pístových tlakoměrů je to EURAMET cg3.

## 11. Terminologie pro anglickou verzi osvědčení o akreditaci

Odborná terminologie každé veličiny má svá specifika, která překladatel nemusí dokonale znát. I proto se může stát, že překlady jednotlivých příloh, vzniklých v rozdílné době, nemusí být pojaty vždy stejně. Přestože znalosti angličtiny se stávají prakticky běžnými, zdaleka ne každý měl možnost setkat se se správnou odbornou terminologií v angličtině. V našem případě se jedná o velmi specifickou terminologii, proto se s ní nemuseli setkat ani kvalifikovaní překladatelé, což může do překladů vnést nechtěné rozdíly. Bohužel se stále můžeme setkat i s doslovným překladem některých termínů, např.: Deformation manometers, Pressure converters, Overpressure, Underpressure.

Práce se proto v poslední kapitole věnuje termínům vhodným pro popis předmětu kalibrace, jejího principu a parametrů a jejich anglických ekvivalentů.

## 12. Seznamování odborné veřejnosti s výstupy z úkolu

Cílem všech úkolů PRM, které řeší ČIA, je zpřístupnit výsledek co možná nejširší odborné veřejnosti. Samotná zpráva o řešení není z tohoto pohledu dostačující, i když je zveřejněna na webových stránkách ÚNMZ a ČIA. Proto ČIA pořádá k řešení daného úkolu seminář, na který zve zástupce kalibračních laboratoří z daného oboru, příslušné odborné posuzovatele i ostatní odbornou veřejnost. K řešení zde popisovaného úkolu proběhl seminář 29. března letošního roku.

Posledním krokem informování odborné veřejnosti je tento článek v časopisu Metrologie. Má za úkol čtenářům přiblížit výsledky řešení úkolu a podnítit je nejen k přečtení celé závěrečné zprávy, ale především k úvaze nad používáním správné terminologie v oboru tlak na přílohách osvědčení o akreditaci i v kalibračních postupech a jiné dokumentaci laboratoří, a tím přispět k jednotnému pohledu na informace o možnostech kalibračních laboratoří, které v oboru tlak působí.

Autoři chtějí touto cestou poděkovat všem, kteří se na zpracování úkolu podíleli, tedy především oponentům a pracovníkům ÚNMZ i dalším spolupracujícím, za cenné náměty a rady, které přispěly k výsledku řešení úkolu PRM VII/05/21 Principy kalibrace v oboru tlak.



## HISTORIE BEZDOTYKOVÉHO MĚŘENÍ TEPLOTY

Ing. Lenka Kňazovická, Ph.D.

Český metrologický institut

Bezdotykové měření teploty má své místo v nejrůznějších aplikacích. O principech bezdotykového měření teploty toho již bylo napsáno mnoho, a to i v tomto časopise. Dnešní příspěvek je proto zaměřen na jeho historii a vývoj bezdotykových snímačů teploty.

## Starověk

Bezdotykové měření teploty je využíváno již tisíce let. Prvním používaným bezdotykovým teploměrem bylo lidské oko. To dokáže detekovat jas v rozsahu ( $10^{-6}$  až  $10^8$ )  $\text{cd/m}^2$  a dokáže rozlišit asi 10 milionů barev [1]. Pokud je mozek správně „kalibrován“ na základě zkušeností, může pozorovanou barvu spolehlivě převést na teplotu.

Existují důkazy staré tisíce let, že slunce a jeho teplo bylo v minulosti využíváno jako důležitý nástroj. Například různé hliněné tabulky nebo keramika ukazují, že slunce sloužilo k ohřevu materiálů za účelem výroby různých forem či nástrojů. Cihly sušené na slunci byly použity při stavbě pyramid či babylonské věže. Starodávni stavitelé se museli spoléhat na sluneční záření. Egypťští řemeslníci byli schopni vyrobit kovové nástroje, jako jsou pily, řezné nástroje nebo klíny. Řemeslníci museli vědět, jak horký musí kov být, aby ho mohli tvarovat.

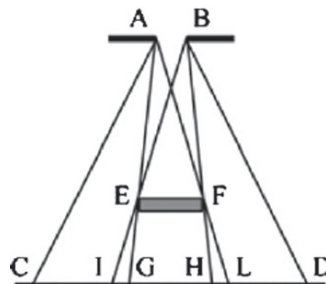
Ve starověkém Řecku, již kolem roku 2100 př. n. l., minojské řemeslníky vyráběli vázy, sochy nebo textilie. Proces výroby železa a oceli realizovaný kolem r. 1500 př. n. l. vyžadoval, aby se pec a kovy zahřívaly na opakovatelnou teplotu. V té době samozřejmě ještě neexistovala žádná metoda, která by byla schopna přímo měřit teplotu, bylo však vypořádováno, že barva rozžhavené pece a kovu mohou indikovat teplotu.

Řemeslníci spoléhali na své vlastní smysly, aby stanovili, kdy má materiál správnou teplotu pro lisování nebo řezání. Naučili se odhadovat množství tepla přivedeného do pece, hutě nebo sklářské pece podle barvy vnitřku ohřívací komory. Skláři např. na základě této znalosti poznají, kdy má roztavené sklo vhodnou teplotu k potřebnému tvarování a využívají toho dodnes [2].

Vědecký rozvoj bezdotykového měření teploty můžeme začít sledovat cca od r. 1600, kdy **Galileo Galilei** (\*1564–†1642) vynalezl první teploměr [3]. Infračervené záření bylo objeveno v roce 1800.

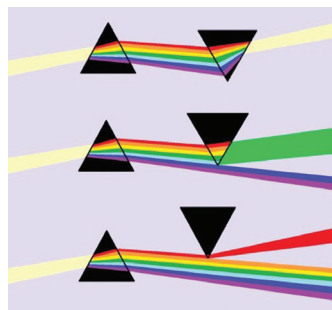
## 1600–1700

**Isaac Newton** (\*1642–†1727) zkoumal povahu světla experimentováním s hranoly [4]. V té době se vědecká komunita nemohla shodnout na tom, jestli je světlo částicové nebo vlnové povahy. Svůj první hranol Isaac Newton koupil v roce 1666, rok poté, co byla publikována práce **Francesca Grimaldiho** (\*1613–†1663) o difrakci [5], **obr. 1**.



**Obr. 1:** Náčrten prvního experimentu navrženého Grimaldim pro odhalení difrakce světla. [6].

světlo je tvořeno částicemi a ne vlnami. Newton zavedl termín „barevné spektrum“, a přestože se spektrum jeví jako spojité, bez výrazných hranic mezi barvami, rozhodl se jej rozdělit na sedm barev: červenou, oranžovou, žlutou, zelenou, modrou, indigovou a fialovou. Newton si vybral číslo sedm kvůli starověké řecké víře, že sedm je mystické číslo. Newton ukázal, že každá barva má jedinečný úhel lomu. Viděl, že předměty mají stejnou barvu jako paprsek barevného světla, který je osvětluje, a že paprsek barevného světla zůstane stejné barvy bez ohledu na to, kolikrát se odráží nebo láme. To ho vedlo k závěru, že barva je vlastností světla, které se odráží od předmětů, nikoli vlastností předmětů samotných (**obr. 2**).



**Obr. 2:** Náčrten Newtonova objemu ohledně rozkladu světla optickými hranoly [4].

Navzdory Newtonově přesvědčení, že jeho teorie byla prokázána, stále čelila několika problémům a nebyla okamžitě přijata. Během jednoho roku od zveřejnění teorie publikoval další člen *Royal Society*, anglický přírodní filozof **Robert Hooke** (\*1635–†1703), podobné výsledky jako Grimaldi. Tvrdil, že difrakce není novým typem lomu, jak tvrdil Newton, a že ji lze vysvětlit pouze za předpokladu, že světlo je složeno z vln. Mnoho dalších členů *Royal Society* se připojilo k Hookovi a kritizovalo Newtonovu teorii částic. Někteří popřeli, že by Newtonovo barevné spektrum vůbec existovalo, a jiní zpochybnili, že jeho pokus skutečně prokázal, že světlo se neskládá z vln. Ti, kteří se pokusili zopakovat Newtonův experiment, často selhali.

Hranoly stále nebyly běžně přijímány jako vědecké nástroje. Byly prodávány jako jednoduché formy zábavy a na jejich návrhu nebo vylepšení bylo jen málo technické práce. Benátské sklo bylo považováno za standard, se kterým se porovnávala ostatní skla, ale i toto bylo plné vzduchových bublin a nedostatků. Celé situaci nepomohlo ani to, že Newton zatajil podrobnosti o svých zkouškách.

Nevysvětlil, jak vytvořil spektrum z prvního hranolu, ani nespécifikoval velikost nebo geometrii druhého hranolu.

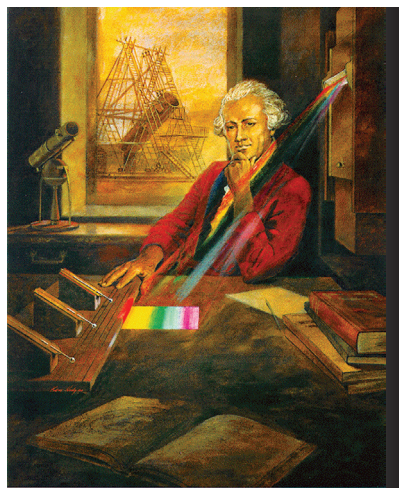
Teprve v roce 1676, čtyři roky po prvním zveřejnění, Newton provedl další pokusy a poskytl lidem dostatek informací, aby je mohli replikovat.

### 1700–1800

Infračervené záření bylo objeveno **Friedrickem Williamem Herschelem** (\*1738–†1822), německým hudebníkem a astronomem, známým jako otec hvězdné astronomie [7]. Herschel studoval planety a byl prvním vědcem, který plně popsal galaxii Mléčné dráhy a v roce 1781 objevil planetu Uran. Přispěl také ke studiu sluneční soustavy a podstaty slunečního záření.

Herschel v roce 1800 v Anglii experimentoval se slunečním světlem. Chtěl vědět, kolik tepla projde různými barevnými filtry, které používal k pozorování slunečního světla. Všiml si, že filtry různých barev zřejmě propustí různé množství tepla. Herschel si myslel, že barvy samy o sobě mohou mít různé teploty, a tak vymyslel experiment, aby svoji hypotézu prozkoumal.

Nasměroval sluneční světlo přes skleněný hranol k vytvoření barevného spektra a následně změřil teplotu každé z barev. Použil tři kontaktní teploměry, jeden umístil do dané barvy a zbylé dva byly použity jako kontrolní a umístěny mimo barevné spektrum. Při měření teploty jednotlivých získaných barev si všiml, že všechny barvy měly teploty vyšší, než ukazovaly kontrolní teploměry. Navíc zjistil, že teploty barev se zvyšovaly směrem od fialové k červené části spektra (**obr. 3**).



**Obr. 3:** Portrét F. W. Herschela u jeho experimentu se světlem, který vedl k objevu infračerveného záření [8]

Na základě tohoto zjištění se Herschel rozhodl změřit teplotu těsně za červenou částí spektra, v oblasti bez dopadajícího slunečního světla. Ke svému překvapení zjistil, že tato oblast má nejvyšší teplotu ze všech.

Herschel provedl další experimenty za červenou částí spektra, podle jeho pojmenování na tzv. výhřevných paprscích (*calorific rays*). Objevil, že tyto paprsky mo-

hou být odráženy, lámány, absorbovány a přenášeny podobným způsobem jako viditelné světlo. Objev Williama Herschela dnes známe pod pojmem infračervené záření. Herschelův experiment byl důležitý, protože to bylo poprvé, kdy někdo demonstroval, že existují druhy záření, které nemůžeme vidět očima.

### 1800–1900

Způsob, jak uchopit nově objevenou oblast a pracovat s ní, nebyl hned jasný. První dojem byl ten, že slunce dodává tepelné i světelné paprsky a že tepelné paprsky se lámou v menší míře než světelné paprsky. Uplynulo půl století, než bylo zjištěno, že infračervené záření má všechny vlastnosti světelných vln, kromě toho, že neovlivňuje sítnici oka takovým způsobem, aby vyvolávalo vjem světla.

Německý fyzik **Joseph von Fraunhofer** (\*1787–†1826) je považován za jednoho ze zakladatelů moderní optiky. Podařilo se mu vyrobit dalekohledy v dosud nejvyšší dosažené kvalitě [9]. Optické přístroje, které sám vyvinul, včetně spektrometru a difrakční mřížky, umožnily Fraunhoferovi provádět základní výzkum v oblasti světla a optiky. V roce 1802 si anglický chemik **William Hyde Wollaston** (\*1766–†1828) všiml, že na některých místech slunečního spektra je světlo rázem slabší, než by mělo být. Joseph von Fraunhofer tyto mezery v intenzitě slunečního světla začal pečlivě zkoumat a měřit jejich vlnové délky. Nakonec byly vlnové délky, na kterých se nacházely dané propady v intenzitě, nazvány Fraunhoferovy čáry. Během života objevil Fraunhofer na 570 spektrálních čar, a díky moderním přístrojům můžeme dnes rychle zjišťovat tisíce takových spektrálních čar. Tyto čáry se později staly důležitými pro studium emise a záření.



**Obr. 4:** Joseph von Fraunhofer [9]

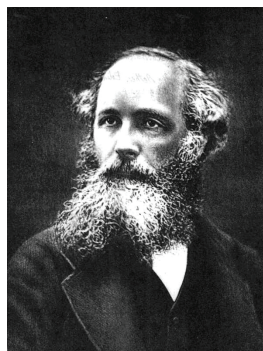
V roce 1868 **James Clerk Maxwell** (\*1831–†1879) představil rovnice, které popisují základní zákony elektromagnetismu:

- siločáry elektrického pole začínají a končí v tom místě prostoru, kde je soustředěn elektrický náboj; zdrojem elektrického pole je tedy náboj;
- siločáry magnetického pole nikde nezačínají a nikde nekončí (jsou to křivky uzavřené), tj. neexistují magnetické náboje a magnetické pole je tedy vždy vírové;
- při časové změně magnetického pole je elektrické pole vírové (siločáry jsou uzavřené) a podél vírů je možno měřit napětí;
- teče-li obvodem proud, vzniká kolem něho magnetické pole.

Maxwellova teorie předpovídala mnoho nových jevů, ale jeho nejpozoruhodnějším důsledkem – jak si Maxwell ihned uvědomil – bylo to, že poukazoval na existenci elektromagnetického spektra [10, 11]. Na základě dnešních znalostí toto



spektrum dělíme na rádiové vlny, mikrovlny, infračervené vlny, viditelné světlo, ultrafialové vlny, rentgenové záření a gama záření.



Obr. 5: James Clerk Maxwell

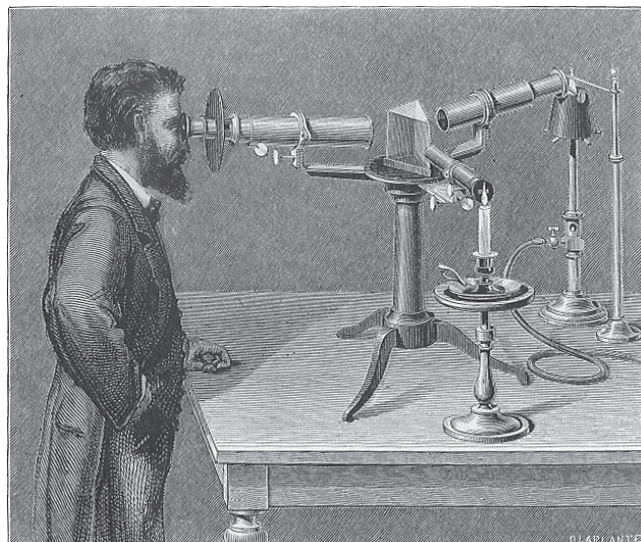
Maxwellovy rovnice stanovily elektrické a magnetické vlastnosti prázdného prostoru (vakua). Poté, co si Maxwell všiml, že rychlost vlny bezhmotného elektromagnetického záření je velmi blízká předpokládané rychlosti světla, navrhl, že by se mohly přesně shodovat. Ukázalo se, že Maxwell měl pravdu a poprvé tak lidé mohli měřit rychlost světla na základě jiných konstant ve vesmíru. Zároveň Maxwellova práce výrazně naznačovala, že světlo je samo o sobě elektromagnetickou vlnou. Poté, co byla tato myšlenka potvrzena, ji v roce 1905 zachytil Albert Einstein jako součást své teorie speciální relativity.



Obr. 6: Hermann von Helmholtz

Další Němec, fyziolog a fyzik **Hermann von Helmholtz** (\*1821–†1894), přijal Maxwellovu teorii elektromagnetismu a uznal, že jejím důsledkem je částicová teorie elektrických jevů. V roce 1881 vyslovil hypotézu podporující existenci atomové struktury elektrického náboje. Svými názory na složení hmoty se přiblížil k později vzniklé elektronové teorii. V termodynamice zavedl pojem „volné energie“, tj. části vnitřní energie soustavy, kterou lze za stálé teploty přeměnit v práci [12].

V roce 1859 **Gustav Robert Kirchhoff** (\*1824–†1887), německý fyzik a matematik, společně s **Robertem Bunsenem** (\*1811–†1899), německým anorganickým chemikem a fyzikem, vyvinuli moderní verzi plamenového spektroskopu (obr. 7). Ten jim umožňoval přesně identifikovat prvky podle jejich emisních spekter – dokonce i nové prvky ve směsích a sloučeninách. Pomocí tohoto přístroje byly objeveny čtyři prvky a všechny byly pojmenovány podle barev pro test plamenem: červená (rubidium), nebesky modrá (cesium), zelená (thallium) a indigová (indium). Spektroskop obsahoval více než jeden hranol a umožňoval větší oddělení spektrálních čar, než jaké bylo možné získat Fraunhoferovým spektroskopem. Kirchhoff s Bunsenem byli schopni prokázat, že každý chemický prvek vyzařuje charakteristické spektrum světla, které lze prohlížet, zaznamenávat a měřit. Zjištění, že jasné čáry v emisním spektru prvků se přesně shodují ve vlnové délce s tmavými čarami ve slunečním spektru, naznačovalo, že stejné prvky, které vyzařovaly světlo na Zemi, absorbovaly světlo na slunci [13, 14].



Obr. 7: Spektroskop Roberta Kirchhoffa [26]

Kirchhoff začal rozvíjet teorii záření, která by vedla k pochopení radiční rovnováhy, čímž položil základy konceptu černého tělesa a jeho praktické realizace. Kirchhoffův zákon, spojující entalpii s tepelnou kapacitou, zůstává dodnes ve všech učebnicích fyziky – v zájmu zachování energie musí být v termodynamické rovnováze emitovaný tok a absorbovaný tok na všech vlnových délkách a ve všech směrech při dané teplotě stejný.

Kirchhoff představil koncept černého tělesa v roce 1860 jako důsledek formulovaného Kirchhoffova zákona záření [2]. Černé těleso je definováno jako jakýkoli předmět, který při zahřátí absorbuje všechny frekvence záření a poté, když se ochladí, všechny frekvence vydá. Tento objev byl zásadní pro vývoj radiční termometrie. Kirchhoff ovšem nedokázal popsat, jakým způsobem je záření černého tělesa závislé na teplotě. Bylo pozorováno, že například zahřívání železná tyč vydává teplo a světlo. Její záření může být nejprve neviditelné nebo infračervené, ale poté se stane viditelným, až se tyč rozžhává dříve. Nakonec se rozžhává docela, což znamená, že vyzařuje všechny barvy spektra. Spektrální záření, které závisí pouze na teplotě, na kterou je těleso zahříváno, a nikoli na materiálu, ze kterého je vyrobeno, nemohla klasická fyzika předpovědět. Kirchhoff uznal, že „nalézt tuto univerzální funkci je velmi důležitý úkol“.

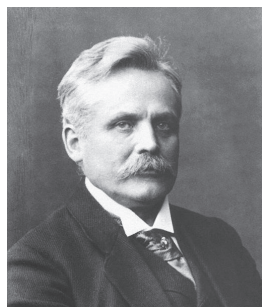
Rakouský fyzik slovinské národnosti **Jožef Stefan** (\*1835–†1893) poprvé určil vztah mezi množstvím energie vyzařované tělesem a jeho teplotou. Studoval horká tělesa ve značném rozsahu teplot a v roce 1879 na základě experimentálních důkazů určil, že celkové záření emitované černým tělesem se mění jako čtvrtá mocnina jeho absolutní teploty (Stefanův zákon). V roce 1884 jeden z jeho bývalých studentů, **Ludwig Boltzmann** (\*1844–†1906), určil teoretické odvození pro Stefanův experimentálně odvozený zákon záření černého tělesa založený na termodynamických principech a Maxwellově elektromagnetické teorii. Zákon, nyní známý jako Stefan-Boltzmannův, tvoří základ pro radiční termometrii. Právě s touto rovnicí byl Stefan schopen provést první přesné určení povrchové



Obr. 8: Jozef Stefan (vlevo) a Ludwig Boltzmann (vpravo)

teploty slunce na  $5\,430\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zákon je vysoce přesný pouze pro ideální černá tělesa, funguje však jako dobrá aproximace pro většinu „šedých“ těles [15].

Dalším problémem, který bylo nutné vyřešit, se ukázal charakter tepelného záření emitovaného černými tělesy. Černá tělesa nevydávala teplo tak, jak vědci očekávali. Teoretický vztah mezi spektrálním zářením černého tělesa a jeho termodynamickou teplotou byl stanoven až koncem devatenáctého století. Jedna z teorií, navržených k vysvětlení této nekonzistence, pocházela od německého fyzika **Wilhelma Wiena** (\*1864–†1928) a anglického fyzika **Johna Rayleigha** (\*1842–†1919).



Obr. 9: Wilhelm Wien

**Wilhelm Wien** změřil rozložení vlnových délek záření černého tělesa v roce 1893. Graf záření vs. vlnová délka ukazuje sérii křivek při různých teplotách. S tímto grafem byl Wien schopen ukázat, že maximální hodnota vlnové délky se mění úměrně s množstvím energie a nepřímo s absolutní teplotou. Se zvyšující se teplotou se v souladu se Stefanovými zjištěními nejen zvyšuje celkové množství záření, ale snižuje se vrcholová vlnová délka a barva emitovaného světla se mění z červené přes oranžovou a žlutou do bílé. Wien se pokusil formulovat rovnici, která by dokázala popsat jeho objev. Rovnice fungovala dobře pouze pro krátké vlnové délky. Rayleighova teorie byla zase uspokojivá pro nízkofrekvenční záření.

Tato teorie, známá jako Wienův posunovací zákon, je používána dodnes. V roce 1911 Wien za tuto teorii obdržel Nobelovu cenu za fyziku.

V polovině 90. let 19. století **Max Karl Ernst Ludwig Planck** (\*1858–†1947), německý fyzik a bývalý Kirchhoffův student, spolu se skupinou berlínských fyziků zkoumali světelné spektrum vyzařované černým tělesem. Protože spektrometr ukazoval spíše zřetelné čáry světla než široké pásy, předpokládali, že světlo vyzařují drobné struktury. Na základě tohoto předpokladu začali rozvíjet atomovou teorii, která by mohla vysvětlit spektrální čáry.

Po dlouhých letech výzkumu se Planckovi podařilo najít v roce 1900 vzorec popisující záření černého tělesa. Vzorec Planck odvodil za dva měsíce a potvrdil jím svůj předpoklad, že se energie šíří nespojitě po kvantech (energie vyzařování je úměrná frekvenci nebo vlnové délce). Planckova **teorie světelného kvanta** vzbudila na počátku jen malou pozornost. První z těch, kdo ji dále rozvinuli, byl Einstein, který pomocí ní vysvětlil fotoelektrický jev.

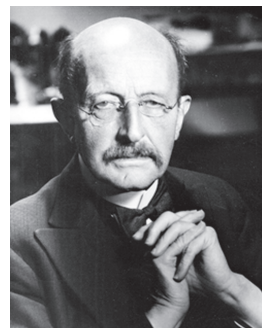
Planck ve své teorii také definoval univerzální konstantu – dodnes známou a používanou Planckovu konstantu. Planckův objev znamenal novou éru ve fyzice. V roce 1918 Planck obdržel za objev kvantové teorie Nobelovu cenu za fyziku [17].

### Po roce 1900

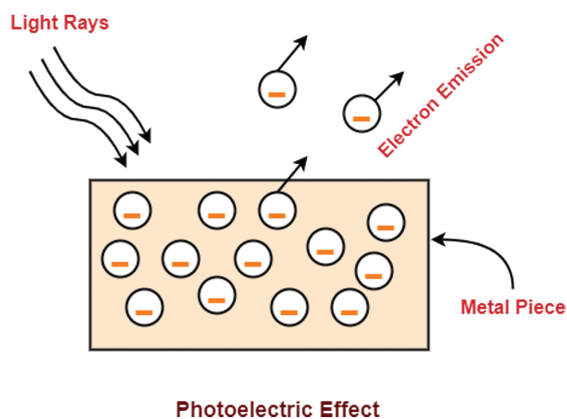
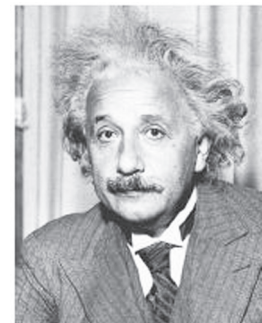
**Albert Einstein** (\*1879–†1955) část svého života věnoval studiu prací Maxwella, Helmholtze a Plancka. U analýzy fotoelektrického jevu (**obr. 11**) zjistil, že kvanta nejsou omezena pouze na tepelné záření. Einstein dokázal, že světlo je proud částic s vyčíslitelným množstvím energie pomocí Planckovy konstanty. Během deseti let se tato předpověď experimentálně potvrdila pro viditelné světlo.

Zatímco Planck viděl kvanta jako koncepční nástroj ve svých výpočtech, Einstein je viděl jako vlnové balíčky energie – dnes známé pod názvem fotony. Za vysvětlení fotoelektrického jevu byla Einsteinovi v roce 1921 udělena Nobelova cena za fyziku.

Einstein publikoval svůj kvantový článek v roce 1905, ve stejném roce jako své další slavné články o speciální teorii relativity a Brownově pohybu. Jeho koncept světelných kvant podnítil další výzkum. Zpočátku se Planck více zajímal o Einsteinovu teorii relativity než o jeho výklad fotoelektrického jevu.



Obr. 10: Max Karl Ernst Ludwig Planck



Obr. 11: Albert Einstein a znázornění fotoelektrického jevu [27]



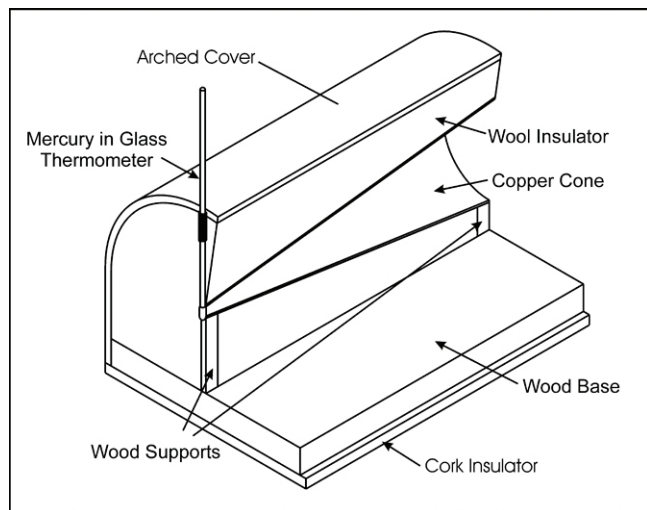
Planck přijal paradoxy relativity a jeho podpora pomohla Einsteinovi získat širší přijetí pro tuto teorii. Na druhé straně všeobecná akceptace Planckovy práce (navzdory Einsteinovu obdivu) ještě nějakou dobu trvala.

V roce 1911 se konala konference, na které se sešlo 21 předních světových fyziků, aby diskutovali o kvantové teorii. Planck stále váhal, zda bezvýhradně přijmout teorii kvanta. Přesto byl nadšen a potěšen pozorností věnovanou jeho nápadu a tím, jak zaujal nové lidi, především **Nielse Bohra**, který aplikoval kvantovou teorii na atomovou strukturu [18].

Na začátku 20. století tedy již byly známy všechny teoretické znalosti, na kterých je založena bezdotyková termometrie. Práce se mohly přesunout do praktické roviny a začal intenzivní vývoj bezdotykových teploměrů.

### Vývoj bezdotykových teploměrů

První radiační teploměr je možné datovat do r. 1828, kdy **M. Sweeny** zkonstruoval teploměr, který dokázal vyzařované teplo z rozpálené pece přenést na rtuťový teploměr prostřednictvím konkávního zrcadla [19]. Pravděpodobná podoba tohoto teploměru je ukázána na **obr. 12**.

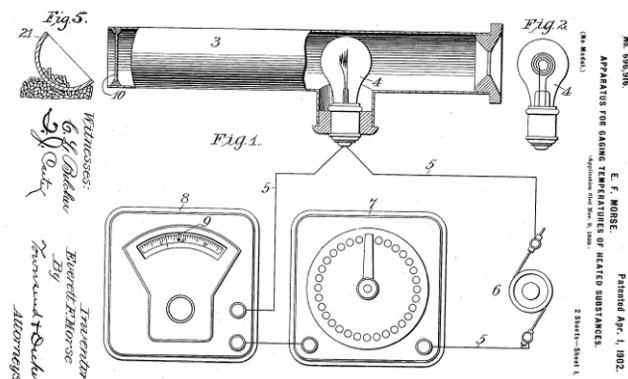


**Obr. 12:** Náčrten prvního bezdotykového teploměru zkonstruovaného M. Sweenym [20]

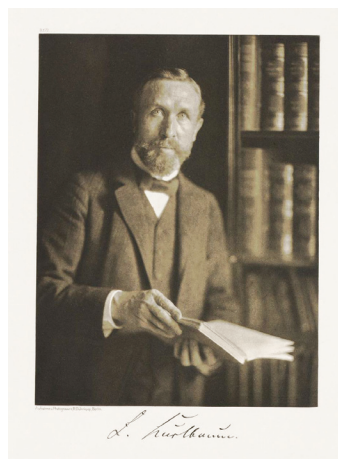
Využití jasu červené záře zahřátého povrchu jako prostředku pro měření jeho teploty bylo poprvé navrženo francouzským vědcem **Antoinem Césarem Becquerlem** (\*1788–†1878). V praxi byl tento návrh realizován poprvé až v roce 1892, kdy francouzský průmyslník a chemik **Henri Louise Le Chatelier** (\*1850–†1936) představil první laboratorní optický pyrometr. Toto zařízení se skládalo z plamene olejové lampy sloužícího jako zdroj pro srovnání jasu, pozorovacího teleskopu s červeným filtrem a iris clony pro korekci jasu k dosažení fotometrické shody. S tímto teploměrem byla provedena první relevantní měření ve vysokých teplotách, kde už nebylo možné použít termoelektrický snímač teploty.

První patent na zařízení, které umožňuje spektrální měření jasu a současně vztahení výsledku tohoto měření na teplotu, byl udělen v roce 1899 **Everettu F. Morsemu**.

Teploměr zkonstruovaný na základě tohoto patentu se na nějakou dobu stal standardem jak v průmyslu, tak ve vědeckých aplikacích. Náčrten z patentové žádosti je uveden na **obr. 13**. V té době se jednalo o celkem přesný a pohodlný způsob umožňující měření teplot nad 3 000 °C z bezpečné vzdálenosti. Nezávisle na této práci byl v roce 1901 představen německými fyziky **Ferdinandem Kurlbaumem** (\*1857–†1927) a **Ludwigem Holbornem** (\*1860–†1926) optický pyrometr s mizejícím vláknem (známý také pod názvem jasový pyrometr). Teploměr byl kalibrován pomocí černého tělesa s pevným bodem zlata při jeho tuhnutí.



**Obr. 13:** Náčrten prvního optického pyrometru z patentové žádosti E. F. Morseho [21]



**Obr. 14:** Ferdinand Kurlbaum

Na základě použití Holborn-Kurlbaumova optického pyrometru v roce 1915 pánové **E. P. Hyde**, **F. Cady** a **W. E. Forsythe** definovali střední efektivní vlnovou délku.

V roce 1923 **C. O. Fairchild** zformuloval požadavky na vzhled optického systému pro zabezpečení celkového zmišení vlákna umožňující přesné a reprodukovatelné měření. Všechny tyto kroky vyústily v roce

1927 při definici Mezinárodní teplotní stupnice v prohlášení optického pyrometru s mizejícím vláknem za definiční měřidlo pro teploty vyšší než teplota pevného bodu zlata. Fairchildův pyrometr byl jako hlavní etalon používán v americkém NISTu až do r. 1956, kdy **Kandyba** a **Kovalevski** ze Sovětského svazu dokázali nahradit potřebné lidské oko fotonásobičem. Američtí vědci, **Kostowski** a **Lee** z NISTu představili podobný fotoelektrický pyrometr v roce 1958. Tento typ teploměrů se začal intenzivně používat jako referenční etalon v národních metrologických institutech při realizaci praktické teplotní stupnice [19].

V roce 1917 firma Leeds & Northrup začala na základě Morseho patentu vyrábět komerčně dostupný jasový



pyrometr, podobný tomu od Holborna a Kurlbauma. Podobná měřidla byla samozřejmě vyráběna i dalšími společnostmi. V roce 1939 firma Leeds & Northrup inovovala původní design teploměru a uvedla na trh potenciometrický jasový pyrometr. Ten se následně stal velmi rozšířeným v průmyslu.

Velkou nevýhodou jasových pyrometrů byla nemožnost jejich autonomního fungování, tj. bez lidské obsluhy. Počátek vývoje autonomních pyrometrů je možné sledovat také od roku 1828, kdy Sweeny představil svůj teploměr. Pro vývoj těchto teploměrů byly zásadní objevy Stefana a Boltzmannova, kteří popsali, že celkové záření vyzářené černým tělesem je úměrné čtvrté mocnině jeho teploty. Tato formule posloužila jako základ pro vývoj pyrometru celkového záření. První patent na teploměr pro celkové záření byl udělen v roce 1901. Přístroj používal termoelektrický senzor, tudíž měl elektrický výstupní signál a byl schopen bezobslužného provozu. V roce 1931 byly představeny první komerčně dostupné teploměry pro celkové záření, opět firmou Leeds & Northrup. Dalším významným výrobcem tohoto typu teploměrů byla firma Honeywell. Tato zařízení byla široce používána v celém průmyslu pro záznam a řízení průmyslových procesů.

Úzkopásmové pyrometry nebyly k dispozici až do skončení druhé světové války. Fotodetektory vyrobené ze sulfidu olovnatého byly původně vyvinuté pro vojenské použití. Staly se prvními infračervenými kvantovými detektory, které byly široce používány v průmyslové radiační termometrii. Další typy kvantových detektorů byly také vyvinuty pro vojenské aplikace a nyní jsou široce používány v průmyslové radiační termometrii. Za zmínku stojí teploměry s křemíkovou fotodiodou, které se dodnes používají pro měření vysokých teplot. Mnoho dnešních teploměrů zachycujících záření v infračervené části spektra používá termočlávkové detektory (bolometry) citlivé na široké spektrum záření.

V druhé polovině 20. století došlo k významným pokrokům v oblastech optoelektroniky, fotodetektorů a radiometrů [22]. To vedlo k výrobě široké škály detektorů a následně radiačních teploměrů na nich založených [23]. Radiační teploměry na bázi detektorů v průmyslu převládly díky možnosti autonomního měření teploty od poloviny 80. let 20. století. Tato zařízení obecně měří infračervené záření, a proto se pojem infračervený teploměr stal běžně používaným pro radiační teploměry. Pro speciální aplikace lze tepelné záření použít i ke stanovení teploty několika málo Kelvinů (např. měření mikrovlnného záření pozadí umožnilo stanovit hodnotu teploty vesmíru na 2,7 K) [24].

Od roku 1990 jsou radiační teploměry, které pracují na principu Planckova vyzařovacího zákona, používány pro realizaci teplotní stupnice nad 961,781 °C s použitím bodu tuhnutí stříbra, zlata, nebo mědi [25]. Navíc, protože radiační termometrie je založena na základních fyzikálních zákonech, primární radiační teploměry jsou použity i k realizaci termodynamické teploty od (1 000 do cca 3 000) K.

Přehled nejvýznamnějších milníků ve vývoji bezdotykové termometrie je zobrazen na **obr. 15**.

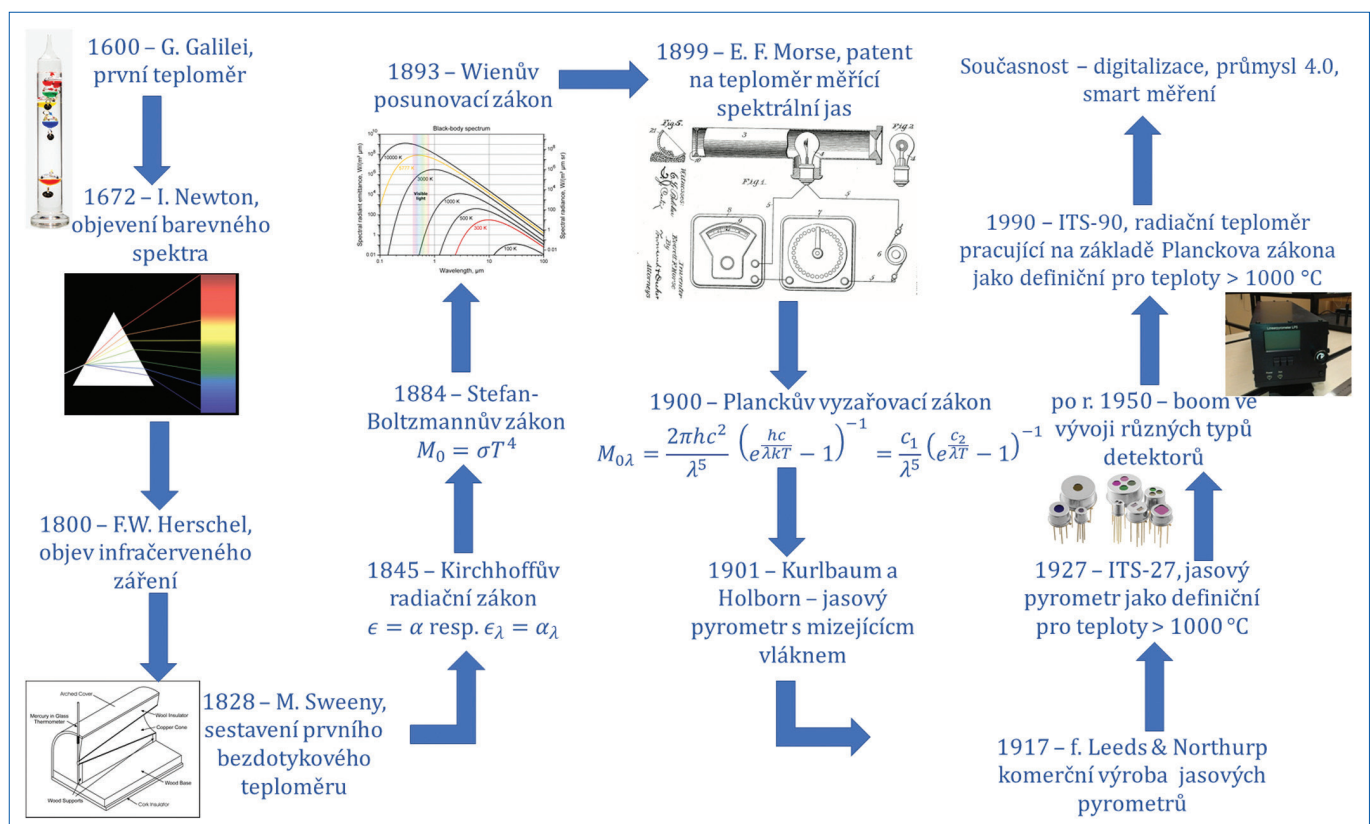
Bezdotykové teploměry se v současnosti používají v široké řadě průmyslových a laboratorních aplikací. Použitím bezdotykových snímačů teploty lze monitorovat objekty, které jsou obtížně dostupné kvůli extrémním podmínkám prostředí. Lze je také použít pro produkty, které nemohou být kontaminovány kontaktním senzorem, jako je sklářský, chemický, farmaceutický a potravinářský průmysl. Bezdotykové senzory lze použít, když jsou materiály horké, pohyblivé nebo nepřístupné, nebo když materiály nelze poškodit, poškrábat nebo roztrhnout kontaktním teploměrem.

Aktuálními výzvami, kterým bezdotykové měření teploty čelí, jsou snahy o zjednodušování měřicích systémů a zlevňování celých procesů. Na druhou stranu je zde ale požadavek na realizaci měření se stále nižší nejistotou. Nelze opomenout také probíhající čtvrtou průmyslovou revoluci (Průmysl 4.0), která je spojená s masivním rozvojem digitalizace a automatizací výroby. Stroje mají převzít opakující se a jednoduché činnosti, které doteď vykonávají lidé. Pomocí metod a nástrojů Průmyslu 4.0 by mělo dojít k úsporám času a peněz a zvýšení flexibility firem. Mělo by dojít ke zvýšení kvality lidského života díky zvyšování produktivity práce a mizení monotónních a fyzicky náročných profesí.

## Literatura

- [1] Luminance Range, <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/luminance-range>, leden 2022
- [2] Infrared thermography - A Historical Perspective, <https://www.omega.co.uk/literature/transactions/volume1/historical1.html>, leden 2022
- [3] What's a Galileo thermometer and how do you read it?, <https://www.zmescience.com/other/feature-post/galileo-thermometer-03213/>, leden 2022
- [4] Newton's theory of Light <http://www.thestargarden.co.uk/Newtons-theory-of-light.html>, leden 2022
- [5] Francesco M. Grimaldi, S. J. (1613 to 1663) and his diffraction of light, <http://www.faculty.fairfield.edu/jmac/sj/scientists/grimaldi.htm>, leden 2022
- [6] Schematic drawing of the first experimental setup devised by Grimaldi to reveal the diffraction of light, [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-drawing-of-the-first-experimental-setup-devised-by-Grimaldi-to-reveal-the\\_fig1\\_230906957](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-drawing-of-the-first-experimental-setup-devised-by-Grimaldi-to-reveal-the_fig1_230906957), leden 2022
- [7] Discovery of light by Sir Frederick William Herschel – A classroom activity, NASA, [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov), leden 2022
- [8] Sir Frederick William Herschel, infrared light (IR) discoverer, <https://nirs-research.com/en/sir-frederick-william-herschel-discoverer-of-the-light-infraroja-2/>, leden 2022
- [9] Joseph von Fraunhofer, <https://www.fraunhofer.de/en/about-fraunhofer/profile-structure/chronicles/joseph-von-fraunhofer.html#699780216>, leden 2022

- [10] Physics Explained: Here's Why The Speed of Light Is The Speed of Light, <https://www.sciencealert.com/why-is-the-speed-of-light-the-speed-of-light>, leden 2022
- [11] James Clerk Maxwell: a force for physics, <https://physicsworld.com/a/james-clerk-maxwell-a-force-for-physics/>, leden 2022
- [12] Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (31. 8. 1821 - 8. 9. 1894), <http://www.e-chembook.eu/hermann-ludwig-ferdinand-von-helmholtz>, leden 2022
- [13] Kirchhoff's spectroscopy - Illuminating the dark corners of science, <https://www.chemistryworld.com/opinion/kirchhoffs-spectroscopy/6547.article>, leden 2022
- [14] Chemistry - Spectroscopy (1855-1864), <https://uwaterloo.ca/chemistry/community-outreach/2019-international-year-periodic-table-timeline-elements/spectroscopy-1855-1864>, leden 2022
- [15] Josef Stefan's - Black Bodies and Thermodynamic Temperature, <http://scihi.org/josef-stefans-thermodynamics/>, leden 2022
- [16] The Nobel Prize - Wilhelm Wien, Biographical, <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1911/wien/biographical/>, leden 2022
- [17] Max Planck, <http://www.converter.cz/fyzici/planck.htm>, leden 2022
- [18] The blackbody spectrum and the birth of quantum, <https://spie.org/news/photonics-focus/novdec-2020/the-blackbody-spectrum-and-the-birth-of-quantum?SSO=1>, leden 2021
- [19] D. P. DeWitt, G. D. Nutter, Theory and practice of Radiation Thermometry, Wiley Interscience, ISBN 0-471-61018-6, 1989
- [20] Understanding Radiation Thermometry –Part I, Timothy K. Risch, NASA Armstrong Flight Research Center, July 8, 2015
- [21] Patentová dokumentace, <https://patents.google.com/patent/US696916>, leden 2022
- [22] Z. M. Zhang, B. K. Tsai, G. Machin, Radiometric temperature measurements, I. Fundamentals, Volume 42, Experimental Methods in the physical sciences, AP, ISSN 1079-4042, 2009
- [23] A. C. Parr, R. U. Datla, and J. L. Gardner (eds.), Optical Radiometry, Experimental Methods in the Physical Sciences, Elsevier, San Diego, CA, Vol. 41, 2005.
- [24] J. Boslough and J. C. Mather, The Very First Light, Basic Books, New York, Revised, ed., 2008.
- [25] H. Preston-Thomas, The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90), Metrologia 27, 3-10 and 107, 1990.
- [26] Commons.wikimedia.org. Autor: Poul la Cour & Jacob Appel (Historisk Fisik bind I). Public domain, leden 2022
- [27] The Photoelectric Effect, <https://www.thoughtco.com/the-photoelectric-effect-2699352>, leden 2022



Obr. 15: Přehled nejdůležitějších objevů

## METODIKA DOE A JEJÍ UPLATNĚNÍ V PRAXI – ČÁST I

**Doc. Ing. Olga Tůmová, CSc.**

*Západočeská univerzita v Plzni, FEL*

**Doc. Ing. František Tůma, CSc.**

*Západočeská univerzita v Plzni, FAV*

### Úvod

Vývoj nových měřicích metod, navrhování nových technologií, vývoj materiálů a studium jejich vlastností vyžadují vedle teoretických poznatků také řadu experimentů v laboratorních nebo provozních podmínkách, na jejichž základě lze ověřit určité teoretické předpoklady, a získat tak údaje pro další výzkum a vývoj. Protože se takových pokusů provádí celá řada, je nutné věnovat metodice navrhování experimentů pozornost, aby při hospodárném řešení bylo získáno co nejvíce údajů a závěry vyplývající z těchto údajů byly věrohodné a dostatečně spolehlivé. Pro spolehlivost závěrů z daných experimentů je vhodné používat matematicko-statistické metody, přičemž je důležité, aby bylo použito vhodné uspořádání experimentu. Metody pro systematické navrhování a hodnocení experimentů začaly vznikat ve dvacátých letech 20. století (zakladatelem je R. A. Fisher, který položil teoretické i praktické základy této metodiky). [8, 15]

**Navrhování experimentů – DOE (Design of Experiments)** je strategie pro plánování experimentů takovým způsobem, že lze účinně a ekonomicky dosáhnout žádoucích závěrů. Volba daného plánu experimentu by měla záviset na druhu otázky, která má být zodpovězena s určitým stupněm obecnosti, který závisí na prostředcích, které byly při experimentu k dispozici. Správně navržený a provedený experiment povede k relativně jednoduché statistické analýze, a tím i relativně jednoduché interpretaci výsledků. [1, 2, 3]

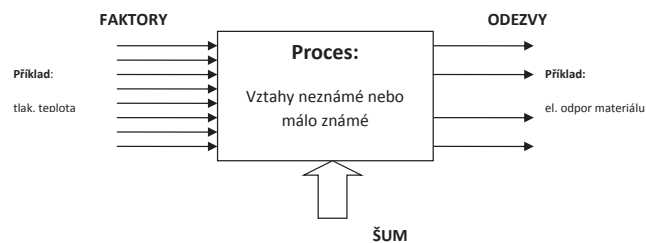
Moderní řízení kvality je založeno především na americké a japonské filosofii, která je známá pod názvem Total Quality Management (TQM). Kromě toho se uplatňuje i normativní přístup, kde se uplatňují mezinárodní normy řady ISO 9000, popř. další specifické normy pro určité obory (zejména automobilový průmysl). Metodika DOE je řazena mezi vyšší nástroje řízení kvality, které lze uplatnit jak v akademickém prostředí, tak v podnikové praxi. Pro podnikovou praxi tuto metodiku rozpracoval japonský odborník G. Taguchi tak, aby byla použitelná zejména pro: [8, 9]

- Snadnější a rychlejší dosažení požadovaných parametrů kvality,
- Snížení variability technologických procesů,
- Snížení/udržení nákladů při zvyšování kvality,
- Identifikaci kritických parametrů procesu nebo výrobku,
- Větší porozumění týkající se závislosti a interakcí mezi proměnnými.

Existuje velké množství veličin a vlivů, které právě charakteristiky kvality ovlivňují. Ty vstupují do procesu jako **faktory**. Jsou regulovatelné a kontrolovatelné (v průběhu experimentu je lze nastavit a udržovat na určitých úrovních).

Na rozdíl od **odezvy**, která představuje závislou proměnnou, je faktor většinou proměnnou nezávislou:

- Všechny nekontrolovatelné vlivy na proces jsou rušivé (neregulovatelné). Rušivé vlivy (šum) nelze eliminovat. Ovlivňují cílové veličiny a jejich variabilitu. Díky opakování pokusů jsme schopni faktory a šumy rozlišit.
- Návrh experimentů pomocí DOE je nástroj, který se používá na sledování faktorů nebo parametrů ovlivňujících proces. Umožňuje rozřadit faktory na významné a méně významné s ohledem na okolní podmínky, které jsou neoddelitelnou součástí procesu. Dále umožňuje získat informace o vzájemném ovlivňování jednotlivých faktorů na vstupu, a tím lépe poznat celý proces.
- Sledovanou odezvu mohou ovlivnit i tzv. šumové faktory. V zájmu experimentátora je tedy systematickému ovlivnění odezvy těmito faktory vhodným způsobem předejít (například znáhodněním pořadí provádění pokusů, replikací). Při postupném nastavování vybraných experimentálních faktorů tak lze při odstranění vlivu šumových faktorů sledovat vliv tohoto nastavení na vybrané odezvy.
- Faktory mohou být při experimentu nastaveny na tzv. **úrovních**. Experimentální ověření dopadů změny faktorů spočívá v úmyslné změně úrovně faktorů a sledování dopadu této změny na sledovanou odezvu. V určitém experimentu se tak testuje vliv různých kombinací nastavení (úrovně) faktorů na sledovanou odezvu. V terminologii plánovaného experimentu je určitá jedna kombinace úrovně faktorů označována jako **pokus**.
- Plánem experimentu se tedy rozumí stanovení počtu faktorů, jejich úrovně a jejich kombinací. Jak již bylo uvedeno výše, určitá kombinace úrovně experimentálních faktorů představuje jeden pokus. Určitý experimentální návrh je tak tvořen určitým počtem vhodně uspořádaných pokusů. Při realizaci naplánovaného experimentu se tak provede stanovený počet plánovaných pokusů, přičemž pro každý pokus se změří sledovaná odezva.
- Interakce jsou kombinovaným účinkem dvou (nebo více) faktorů, tzn. účinek jednoho faktoru je závislý na hodnotě nastavení faktoru druhého (nebo nastavení více faktorů). V procesu výroby má měření jednotlivých parametrů nezastupitelnou roli, **obr. 1**. Proces je v tomto případě „černou skříňkou“ se svými vstupy a výstupy.



**Obr. 1:** Proces jako „černá skříňka“



Metodika DOE sleduje možné účinky několika faktorů na daný objekt (materiál, výrobek, proces) tím, že je testuje na různých úrovních.

## 1. Základní pojmy

Obecně platí, že **experiment** je soubor pokusů, kterými vyšetřujeme sledovaný děj. Tyto experimenty lze rozdělit na:

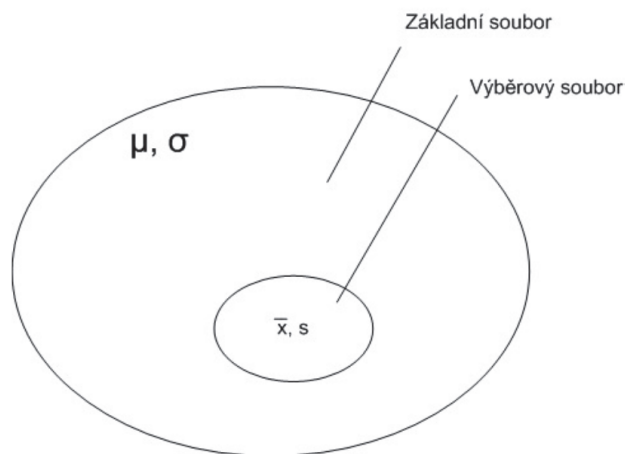
- Pasivní (objektem měření je proces, který probíhá samovolně, nelze jej aktivně ovlivnit, např. v astronomii, některých sociálních vědách apod.).
- Aktivní (operátor aktivně zasahuje do sledovaného procesu, podle prvotních zjištění upravuje podmínky experimentu).
- Sekvenční (u těchto experimentů neznáme předem délku trvání, neboť teprve podle výsledku předchozího se rozhodneme, zda provedeme další experiment).
- Extrémní (sledují se optimální podmínky působení – např. maximální produkce, minimální objem materiálu nebo ztrát apod.). [16, 25]

**Odezva** (charakteristika kvality) je určitá vlastnost objektu (materiálu, výrobku, procesu), která je z matematického hlediska závislou proměnnou a slouží ke kvantifikaci výsledku.

**Faktor** je nezávislá proměnná, která ovlivňuje odezvu (charakteristiku kvality). Faktory mohou být spojité nebo diskrétní, kvantitativní nebo kvalitativní, přičemž při pokusu se pro každou úroveň faktoru provede  $p$  replikací (opakování za stejných podmínek).

## 2. Vzorkování

Cílem experimentů je získat na menším počtu vzorků takové informace o sledovaném jevu či ději, aby bylo možné s dostatečnou pravděpodobností správně rozhodnout o výrobě, léčbě či jiné činnosti.



Obr. 2: Grafické znázornění základního souboru a výběru

Předmětem experimentu je zkoumání určitých vlastností tzv. **základního souboru**. Základní soubor sdružuje prvky, jejichž množství může být velmi rozsáhlé. Počet těchto prvků se nazývá rozsah souboru  $N$  (charakterizován skutečnou hodnotou  $\mu$  a směrodatnou odchylkou  $\sigma$ ). Protože by bylo nákladné a často i nemožné sledovat vlastnosti každého prvku

základního souboru, používá se většinou výběr prvků  $n$  (charakterizován aritmetickým průměrem a výběrovou směrodatnou odchylkou  $s$ ) ze základního souboru, **obr. 2**. Prvky vybrané ze základního souboru do **výběrového souboru** musí základní soubor dobře reprezentovat. Reprezentativnost výběrového souboru se zabezpečuje různými způsoby. Nejčastěji je výběr vytvořen náhodným vybíráním prvků – pak se jedná o tzv. **náhodný výběr**. V některých případech se reprezentativnost výběrového souboru zabezpečuje tak, že na základě znalostí a úsudku se vyberou ze základního souboru záměrně určité statistické prvky, o nichž se předpokládá, že mají vlastnosti základního souboru. Takový výběr se nazývá **úsudkový nebo záměrný výběr**. Přitom je důležité si uvědomit, že náhodný nebo záměrný výběr reprezentuje pouze ten základní soubor, ze kterého byl vytvořen, a proto je nutná opatrnost při zobecňování získaných poznatků.

Mezi výběrová šetření patří i **anketa**, se kterou se setkáváme např. při výzkumu spotřebitelské poptávky či popularity osobností. Výsledky ankety, která je založena na dobrovolnosti dotazovaných a odráží jejich subjektivní názory na dané otázky, mohou být pouze určitou orientací ve sledované problematice. Je třeba si také uvědomit, že v mnohých případech (např. před volbami) nemusí být individuální odpovědi na anketu věrohodné a nemusí zcela odrážet rozložení mínění ve společnosti.

Návrh a hodnocení experimentů nebo sledování kvality vzorkovaného celku se neobejde bez vhodného **vzorkování**. Cílem vyhodnocených vzorků může být:

- odhad střední hodnoty sledovaného znaku,
- odhad měnlivosti sledovaného znaku,
- odhad, zda střední hodnota sledovaného znaku leží uvnitř předepsaných mezí (využití u regulačních diagramů),
- zjištění, zda podíl neshodných jednotek nepřesahuje předem dohodnuté požadavky na kvalitu sledované dávky (uplatnění u statistických přejímek).

Vzorky mají být reprezentativní, tzn., že jejich kvalita musí odpovídat poměrům ve sledovaném celku. Pokud vzorky tuto kvalitu nemají, pak se jedná o tzv. stranné vzorky. V případech, kdy materiál není zcela homogenní, se doporučuje, aby vzorky byly odebírány z různých vrstev, a tak odpovídaly dílčí vlastnostem sledovaného celku.

Vzorkování se podle způsobu odběru vzorků dělí na:

- náhodné (u materiálů homogenních nebo jen náhodně heterogenních),
- systematické (vzorkování se provádí v určitých časových intervalech, jejichž délka není shodná s periodou kolísání sledovaného znaku),
- stratifikované (celek se rozdělí na dílčí oblasti, ze kterých se odeberou dílčí vzorky, při čemž nejmenší počet vzorků se odebírá v oblastech s homogenním materiálem),
- víceúrovňové (na každém stupni se odebere předepsaný počet jednotek, na posledním stupni se volí v závislosti na stupni heterogenity vzorkování náhodné nebo stratifikované).

Vzorkování se také dělí podle:

- spojitosti (spojité a nespojitě),
- soustavnosti (stálé a občasně),
- dynamiky (statické a dynamické).

Jak uvádí [17, 19], proces vzorkování sypkých materiálů se obvykle dělí do tří fází, a to na proces odběru dílčích vzorků, jejich úpravu a proces měření. Každý z těchto procesů má vlastní složku rozptylu. Sypký materiál má být před odběrem dílčích vzorků pokud možno dostatečně homogenizován.

V procesu vzorkování kapalin je kolísání uvnitř hrubého vzorku poměrně malé, a proto se proces úpravy vzorku obvykle vypouští. Pokud je to nutné, může být vzorek protřepán, a tím se variabilita odstraní.

V procesu vzorkování plynů je dílčí vzorek, odebraný z dávky, podroben už přímé analýze.

Existují doporučené normativy pro:

- vzorkování sypkých a zrnitých materiálů [18, 20],
- vzorkování kapalin a pastovitých materiálů [21],
- vzorkování plynů [21].

Pro statistickou analýzu získaných dat musí být tedy splněny následující předpoklady:

- nezávislost prvků výběrového souboru,
- dostatečný počet hodnot  $n$  ve výběrovém souboru
- stále rozdělení hustoty pravděpodobnosti sledované veličiny,
- normální rozdělení naměřených dat,
- sledování odlehklých hodnot.

### 3. Tvorba experimentů

Vlastnosti objektu nebo výsledky procesu mohou být ovlivněny mnoha veličinami i dalšími vedlejšími vlivy (např. prostředím), které do procesu (výroby) vstupují. Při návrhu experimentu je nutné jednotlivé veličiny identifikovat a nastavit, popř. podle potřeby i během experimentu jejich úrovně korigovat.

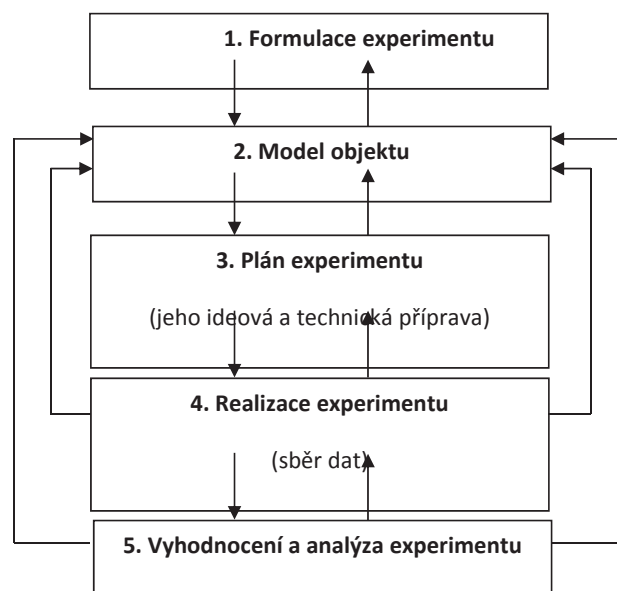
Jednotlivými úlohami návrhu experimentů je:

- získat požadovanou informaci s minimální námahou a náklady,
- před vykonáním experimentu stanovit, zda pomocí experimentu najdeme odpovědi na požadované otázky,
- ukázat, zda je nutná řada experimentů nebo zda bude stačit experiment jednorázový,
- jasně definovat jednotlivé body experimentu, aby se předešlo nedorozuměním při vykonávání experimentu,
- využít předchozí poznatky a zkušenosti při volbě vstupních faktorů,
- hodnotit faktory, a izolovat tak nejvhodnější hlavní příčiny problému či výskytu vad procesů,
- vyzkoušet kombinace možných řešení a nalézt optimální strategii pro dosažení zlepšení procesu,
- vyhodnotit různé návrhy produktu nebo služby, nalézt potenciální problémy a minimalizovat pravděpodobnost výskytu vad již od samého počátku zavedení zlepšení.

Samotný experiment lze rozdělit do pěti etap (obr. 3):

- Formulace experimentu (co měříme, jaké jsou podmínky měření),
- Model objektu (zde se uplatní možná redukce počtu vstupních veličin),
- Plán experimentu (jak ideová, tak i technická příprava – použití vhodné měřicí metody a odpovídajících měřicích přístrojů),
- Realizace experimentu (sběr naměřených dat),

- Vyhodnocení a analýza experimentu (použití vhodných statistických metod se závěry, které prokáží výsledky experimentu s danou pravděpodobností).



Obr. 3: Graf jednotlivých částí experimentu a jejich vzájemné vztahy

#### 3.1 Formulace experimentu

Formulaci experimentu je potřeba věnovat velkou pozornost, protože špatnou přípravou experimentu např. vynecháním nějakého důležitého vlivu (faktoru) či důležitého vzájemného vztahu se stává celý experiment bezcenným. Základním elementem pro formulaci experimentu je **brainstorming**, při kterém dochází k:

- určení cíle experimentu – definice problému (např. návrh parametrů svařovací stanice tak, aby se minimalizovalo množství technologických zmetků),
- analýze systému – popis prověřovaného objektu a okrajových podmínek, shrnutí a vyhodnocení již existujících znalostí,
- identifikaci faktorů, které chceme vyhodnotit (co chceme pomocí experimentu objevit, co proces nebo produkt pravděpodobně ovlivňuje, ...),
- identifikaci požadovaných hodnot faktorů, které se mají otestovat spojité faktory (čas, hmotnost, ...) lze otestovat na nekonečném množství hodnot, pro diskrétní veličiny mohou hodnoty reprezentovat pouze pravdu či nepravdu, jedno nebo druhé.

Jde o vytvoření pole různých kombinací vybraných faktorů (k tomu lze použít různý software nebo statistické tabulky). V této fázi je nutné definovat všechna omezení, která se mohou vyskytnout v průběhu jednotlivých kroků experimentu. Jsou to:

- ekonomická omezení při zkoumání velkého počtu faktorů,
- časová omezení – při velkém počtu faktorů je nutné provést velké množství experimentů, což je časově náročné,
- procesní omezení – stává se, že nám samotný proces nedovolí nastavit jednotlivé úrovně faktorů na takové hodnoty, které jsme si pro experiment naplánovali,

- proměnlivost výsledků – při shodném nastavení faktorů dostaneme rozličné výsledky, a proto je třeba jednotlivé kroky experimentu opakovat.

Postup při výběru kontrolovatelných veličin vlivu jako faktorů pro plán zkoušek a počtu opakování zkoušek:

- pro faktory se zvolí dva nebo více úrovní, na které se faktory během experimentu nastaví,
- z počtu faktorů a příslušných stupňů vyplývá jako plán zkoušek sled kombinací stupňů faktorů, které je možno přehledně zobrazit v podobě matrice (v pravoúhlém poli).

### 3.2 Model objektu

Měřený objekt bývá většinou složitý systém, kde by bylo velmi náročné podchytit všechny jeho závislosti. Cílem experimentu je obvykle určení vzájemných souvislostí pouze mezi některými složkami či vlastnostmi měřeného objektu, které nás zajímají. Základním pojmem teorie experimentu je **matematický model experimentu**. Tento model vychází z abstrakce zkušeností, známých z přírodovědných a technických experimentů, formulovaných v matematickém jazyce.

Veličinu, kterou tyto výsledky vyjadřujeme, nazýváme odezvou, resp. charakteristikou kvality. Jedná se o veličinu přímo nebo nepřímo měřitelnou. Proto lze model měřeného systému vhodně zjednodušit a měření se provádí pouze pro omezený počet závislostí. Zjednodušení se provádí následujícími nástroji.

#### Teoretická analýza

Při teoretické analýze se posuzují přípustné předpoklady, za kterých byl pokus proveden. Mezi jednotlivými veličinami se provede zhodnocení hlavních a vedlejších funkčních závislostí. Při každém experimentu působí řada nežádoucích vedlejších vlivů, které mohou např. zkreslit údaje o účincích těch veličin, které jsou při pokusu důležité. Proto je nutné tyto vedlejší nežádoucí účinky eliminovat.

#### Dimenzionální analýza

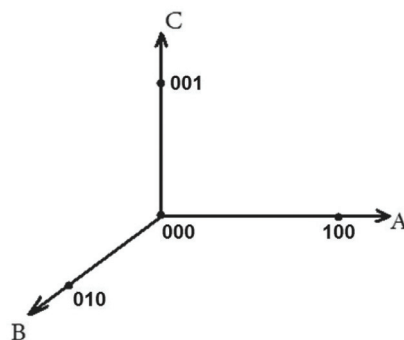
Při zkoumání složitých jevů nastávají problémy, jestliže se při řešení vyskytuje velké množství různých proměnných veličin, neboť to znamená, že exponenciálně vzrůstá počet nutných výsledků v experimentu. Při podrobnějším zkoumání se obvykle prokáže, že účinky vyvolané jednotlivými veličinami nejsou zcela libovolné a na sobě nezávislé, ale naopak, některé veličiny se vyskytují v určitých seskupeních. Důležité přitom je, že počet těchto seskupení je menší než počet původních veličin. Tento poznatek vedl ke zpracování metod dimenzionální (rozměrové) analýzy.

V technické praxi se zkoumají většinou takové jevy, které lze popsat fyzikálními rovnicemi. Každá veličina, uvedená ve fyzikální rovnici, se skládá ze dvou částí, a to čísla, které vyjadřuje velikost, a jednotky rozměru, ve které se veličina měří. Důležitou vlastností každé fyzikální rovnice je rozměrová (dimenzionální) homogenita. Základem je Buckinghamův teorém, který uvádí, že rozměrově homogenní rovnici lze převést na vztah mezi bezrozměrovými parametry, které tvoří úplnou řadu. Příkladem bezrozměrových parametrů jsou např. ustálené vztahy s názvy po významných vědcích (číslo Eulerovo, Prandtlůvo, Machovo, Reynoldsovo atd.).

Volba vstupních veličin patří mezi nejnáročnější akty v návrhu experimentu. Dimenzionální analýza nemůže obecně odhalit hrubé závady, které vzniknou vynecháním některé důležité veličiny nebo naopak některé veličiny do pokusu zbytečně vložené. Přesto mohou nastat situace, kdy použití bezrozměrové analýzy pomůže zjistit nedostatky ve zvolených vztazích.

### 3.3 Plán experimentu

Až do 20. let 20. století byly prováděny **experimenty s tzv. elementární organizací**, tzn., že při experimentu se mění postupně vždy jen jedna nezávisle proměnná. Na **obr. 4** uvedeme tři vlivy (označené A, B, a C, např. tlak, teplota a vlhkost) a měříme jejich hodnoty postupně na vyšší úrovni 2 a nižší úrovni 1.



Obr. 4: Elementární organizace pokusu

Vliv jednotlivých nezávisle proměnných zjistíme z rozdílů naměřených hodnot:

$$\text{vliv proměnné } A = A_{100} - A_{000}$$

$$\text{vliv proměnné } B = B_{010} - B_{000}$$

$$\text{vliv proměnné } C = C_{001} - C_{000}$$

Provedeme-li na každé úrovni (v každém bodě dle obrázku) 2 měření, získáme 8 hodnot, ze kterých provedeme výsledné hodnocení jednotlivých proměnných.

Vyhodnocení vlivu jednotlivých proměnných:

$$A = \frac{1}{2}(A_{100} + A_{100}') - \frac{1}{2}(A_{000} + A_{000}')$$

$$B = \frac{1}{2}(B_{010} + B_{010}') - \frac{1}{2}(B_{000} + B_{000}')$$

$$C = \frac{1}{2}(C_{001} + C_{001}') - \frac{1}{2}(C_{000} + C_{000}')$$

Z rovnic je patrné, že na každé úrovni byl spočítán aritmetický průměr ze 2 naměřených hodnot.

**Faktorový způsob organizace** pokusů umožňuje zjistit kombinovaný vliv předpokládaných účinků na hodnotu  $\mu$ . Pojmem faktor označujeme nezávislou proměnnou, která má předpokládaný vliv na vstupní proměnnou. Ten může být:

- kvantitativní (např. hodnoty tlaku, teploty, odporu, napětí...),
- kvalitativní (např. druh měřicí metody, typ zařízení, způsob zpracování materiálu...).



## ANALÝZA ZAPOJENÍ ČESKÉ REPUBLIKY DO EVROPSKÉHO METROLOGICKÉHO PROGRAMU PRO INOVACE A VÝZKUM EMPIR

**Mgr. Markéta Šafaříková-Pštroszová MPA**  
**doc. RNDr. Jiří Tesař, Ph.D.**

*Český metrologický institut*

### Základní parametry programu EMPIR

Evropský metrologický program pro inovace a výzkum (European Metrology Programme for Innovation and Research, EMPIR) byl schválen rozhodnutím Evropského parlamentu a Rady EU č. 555/2014 ze dne 15. května 2014 o účasti Unie na evropském metrologickém programu pro inovace a výzkum prováděném společně několika členskými státy [1] dle článku 185 Smlouvy o fungování Evropské unie. Program EMPIR navazoval na velmi úspěšný program koordinovaného metrologického výzkumu **Evropský metrologický výzkumný program EMRP**, který byl podrobně popsán v [2]. Rozpočet programu EMPIR byl 600 milionů EUR, z toho 300 milionů EUR bylo poskytnuto Evropskou komisí a 300 milionů EUR představovalo kofinancování členských států. Správní a administrativní náklady programu byly menší než 5 % celkového rozpočtu. Celkově se do programu zapojilo 28 států, mimo členských států EU se zúčastnilo řešení též Švýcarsko, Norsko, Srbsko, Bosna a Hercegovina, Turecko a Velká Británie. Nezbytné organizační a administrativní zázemí pro realizaci programu EMPIR poskytla evropská regionální metrologická organizace EURAMET e.V., provozovaná jako neziskové sdružení podle německého práva. Celý program EMPIR i jeho jednotliví účastníci byli pravidelně auditováni ze strany EK po celou dobu realizace programu. Na základě usnesení vlády ČR č. 901 ze dne 7. 12. 2011 byl přípravou zapojení ČR do programu EMPIR pověřen Český metrologický institut (ČMI). Významná podpora po celou dobu implementace programu pak byla poskytována Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy (MŠMT).

### Řízení a implementace programu EMPIR

Implementace celého programu byla řízena Výborem EMPIR složeným ze zástupců členů EURAMET ze zúčastněných států. Ovšem všichni zástupci zúčastněných států neměli ve Výboru EMPIR stejnou pozici, neboť váha jejich hlasů v EMPIR výboru se vypočítává podle vnitrostátních závazků jednotlivých zemí v souladu s pravidlem druhé odmocniny. Nejvyšší počet hlasů měl zástupce Německa, a to 10. Zástupce ČR, kterým byl po celé období implementace programu doc. RNDr. Jiří Tesař, Ph.D., měl k dispozici 4 hlasy. Účastníci s malým příspěvkem k řešení měli pak pouze 1 hlas. Výbor EMPIR přijímal zejména rozhodnutí o:

- ročním pracovním plánu (podléhající souhlasu EK),
- směřování strategického výzkumu a inovací v oblasti metrologie,

- plánovaných výzvách k podávání návrhů projektů,
- postupu pro hodnocení jednotlivých návrhů projektů,
- výběru projektů určených k financování,
- sledování pokroku a přínosu financovaných projektů,

Výbor EMPIR vždy zval zástupce EK na svá zasedání a zasílal jim příslušné dokumenty. Komise měla na zasedáních výboru EMPIR formálně status pozorovatele a její zástupce se pravidelně účastnil diskusí ve výboru.

### Rozdělení výzev programu EMPIR

Celý program byl rozdělen do 7 výzev, které byly každoročně vypisovány od roku 2014 do roku 2020. Výzvy k podávání návrhů v rámci programu EMPIR byly vždy zveřejněny na jednotném portálu pro účastníky v rámci EURAMET a dále i prostřednictvím jiných elektronických prostředků pro šíření informací Horizontu 2020 spravovaných EK. Každá roční výzva byla ještě typicky členěna do několika specifických tematických okruhů zaměřených na klíčové oblasti metrologie. Rozložení jednotlivých základních tematických okruhů bylo následující:

1. **výzva 2014:** Metrologie pro průmyslové aplikace
2. **výzva 2015:** Metrologie pro oblast zdravotnictví a Metrologie pro zajištění jednotek SI
3. **výzva 2016:** Metrologie pro ochranu životního prostředí a Metrologické zajištění energetiky
4. **výzva 2017:** Základní výzkum pro metrologii a Metrologie pro průmyslové aplikace
5. **výzva 2018:** Metrologie pro oblast zdravotnictví a Metrologie pro zajištění jednotek SI
6. **výzva 2019:** Metrologie pro ochranu životního prostředí a Metrologické zajištění energetiky
7. **výzva 2020:** Základní výzkum pro metrologii a Metrologie pro průmyslové aplikace

Tyto základní tematické okruhy byly od roku 2015 každoročně doplněny ještě specifickou výzvou „Metrologie pro podporu normalizace“ a v období 2014 až 2019 každoročně výzvou „Výzkumný potenciál v oblasti metrologie“, pro podporu transferu metrologických znalostí mezi jednotlivými členy programu. Doplnkovými aktivitami v rámci programu byly podpůrné granty na podporu mobility výzkumných pracovníků a podpora vzniku Evropských metrologických sítí EMN v období 2019-2020, které by se v budoucnu měly stát významným prvkem v programu Evropského partnerství pro oblast metrologie.

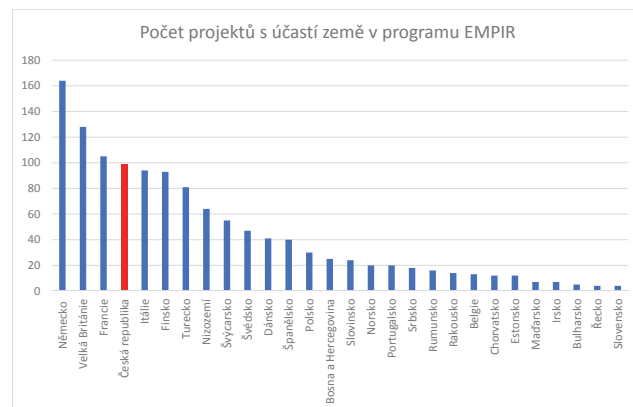
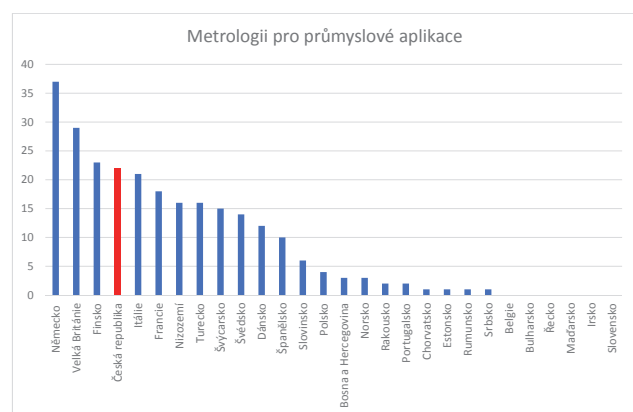
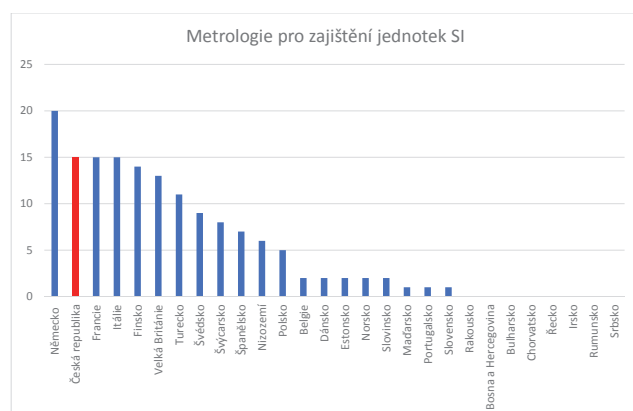
### Analýza zapojení ČR do programu EMPIR

Celkově bylo v rámci 7 výzev v období 2014 až 2020 v soutěži vybráno a následně implementováno 200 projektů programu EMPIR. V roce 2022 postupně končí implementace projektů 5. výzvy. Poslední realizované projekty budou dokončeny až v průběhu druhé poloviny roku 2024. Statistika jednotlivých výzev a tematických okruhů je uvedena v **tabulce 1**.

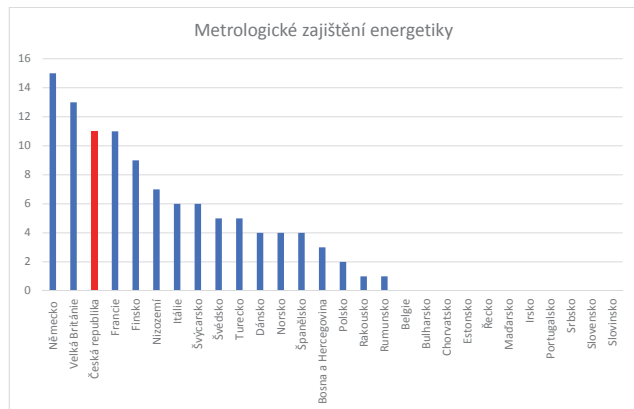
**Tabulka 1:** Statistika jednotlivých výzev a tematických okruhů včetně uvedení počtu projektů s účastí ČMI

Tematický okruh	Roky soutěžení	Počet projektů	Počet projektů s účastí ČMI
Metrologie pro průmyslové aplikace	2014, 2017, 2020	41	22
Metrologie pro oblast zdravotnictví	2015, 2018	19	4
Metrologie pro zajištění jednotek SI	2015, 2018	20	15
Metrologie pro ochranu životního prostředí	2016, 2019	19	10
Metrologické zajištění energetiky	2016, 2019	18	11
Základní výzkum pro metrologii	2017, 2020	18	5
Výzkumný potenciál v oblasti metrologie	2014 až 2019	21	15
Evropské metrologické sítě	2019, 2020	7	5
Metrologie pro podporu normalizace	2015 až 2020	37	12

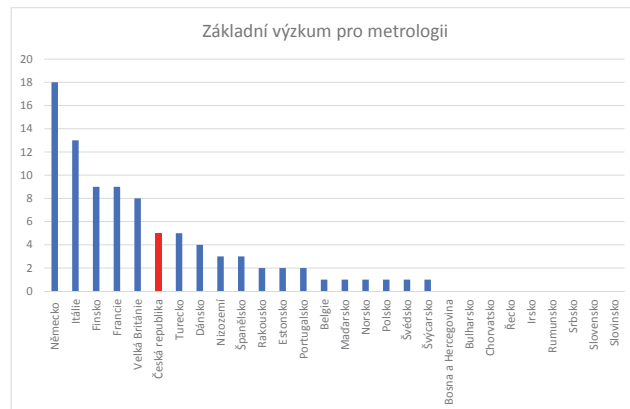
Vzhledem k výrazně rozdílným cenám práce v jednotlivých zúčastněných zemích je nejjednodušším kritériem pro posouzení úspěšnosti v soutěžích porovnání celkového počtu projektů s účastí národních metrologických ústavů a jejich přidružených laboratoří dané země, které je uvedeno v **grafu 1**. V případě ČR lze jednoznačně konstatovat, že zapojení národního metrologického institutu – ČMI bylo mimořádně úspěšné a dokládá aktuálně mimořádně dobrou pozici ČMI v oblasti vědy a výzkumu minimálně na Evropské úrovni. To vynikne ještě více při porovnání například se Slovenskem, Rakouskem nebo Polskem. Překvapivé není ani umístění evropských velmocí (Německo, Velká Británie, Francie, Itálie) na čelných příčkách ani výborné postavení tradičně průmyslově vyspělých zemí střední velikosti, jako je Švýcarsko, Finsko, Švédsko či Nizozemí. Právě s těmito metrologicky vyspělými zeměmi obdobné velikosti má ČMI snahu se porovnávat a soutěžit. Jiným kritériem může být počet projektů vedených expertem z daného metrologického institutu. V tomto kritériu zcela dominují, jak je patrné z **grafu 8**, zaměstnanci metrologických institutů a jejich přidružených laboratoří čtyř největších zemí – Německa, Velké Británie, Francie a Itálie. Ovšem sedmá pozice ČMI dokumentuje, že i mezi českými experty jsou silné osobnosti mající schopnost vést celé rozsáhlé projekty.

**Graf 1:** Celkový počet projektů s účastí národních metrologických ústavů a jejich přidružených laboratoří jednotlivých zemí v programu EMPIR**Graf 2:** Celkový počet projektů s účastí národních metrologických ústavů a jejich přidružených laboratoří jednotlivých zemí v tematickém okruhu Metrologie pro průmyslové aplikace programu EMPIR**Graf 3:** Celkový počet projektů s účastí národních metrologických ústavů a jejich přidružených laboratoří jednotlivých zemí v tematickém okruhu Metrologie pro zajištění jednotek SI programu EMPIR

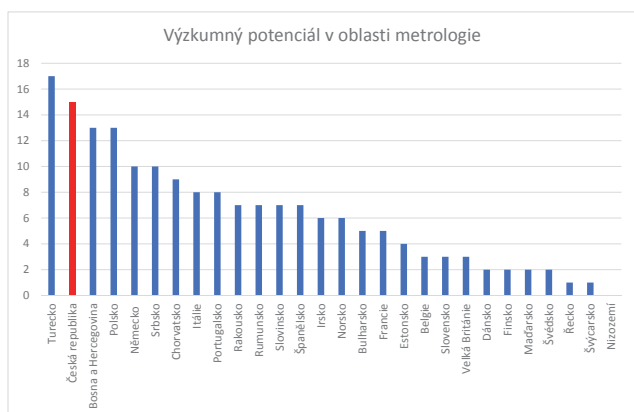
Můžeme se ovšem podívat na zapojení ČMI i podrobněji po jednotlivých tematických okruzích. Nejsilnějšího postavení dosáhl ČMI v oblasti Metrologie pro průmyslové aplikace (**graf 2**), Metrologie pro zajištění jednotek SI (**graf 3**), Metrologického zajištění energetiky (**graf 4**) a Výzkumného potenciálu v oblasti metrologie (**graf 5**), kde skončil mezi ostatními evropskými zeměmi na druhém, třetím nebo čtvrtém místě, což je nutné považovat za zcela mimořádný výsledek.



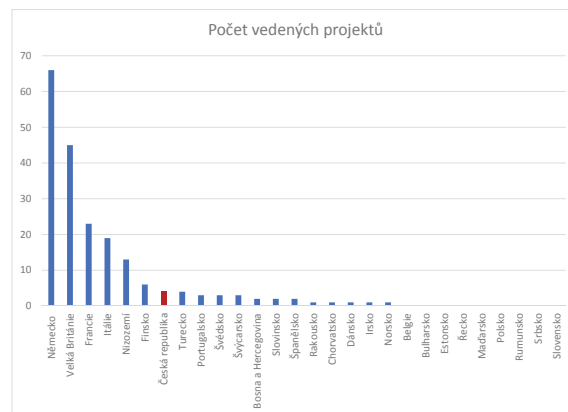
**Graf 4:** Celkový počet projektů s účastí národních metrologických ústavů a jejich přidružených laboratoří jednotlivých zemí v tematickém okruhu Metrologické zajištění energetiky programu EMPIR



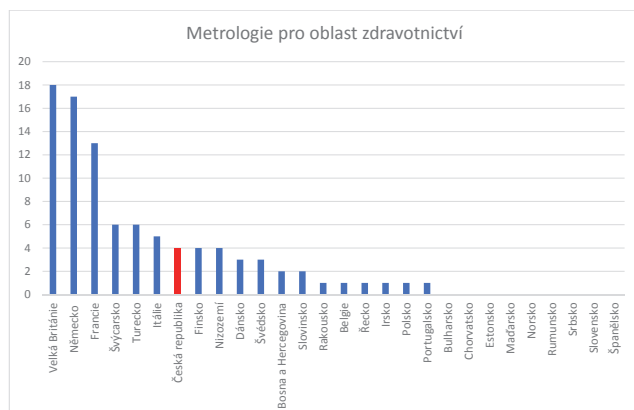
**Graf 7:** Celkový počet projektů s účastí národních metrologických ústavů a jejich přidružených laboratoří jednotlivých zemí v tematickém okruhu Základní výzkum pro metrologii programu EMPIR



**Graf 5:** Celkový počet projektů s účastí národních metrologických ústavů a jejich přidružených laboratoří jednotlivých zemí v tematickém okruhu Výzkumný potenciál v oblasti metrologie programu EMPIR



**Graf 8:** Celkový počet projektů koordinovaných národním metrologickým institutem a jeho přidruženými laboratořemi v programu EMPIR



**Graf 6:** Celkový počet projektů s účastí národních metrologických ústavů a jejich přidružených laboratoří jednotlivých zemí v tematickém okruhu Metrologie pro oblast zdravotnictví programu EMPIR

Naopak nejslabšího výsledku dosáhl ČMI v oblastech Metrologie pro oblast zdravotnictví (**graf 6**) a Základní výzkum pro metrologii (**graf 7**), ovšem dosažené šesté a sedmé místo je potřeba stále hodnotit jako velmi dobré a přiměřené rozvoji daných metrologických specializací v rámci ČR.

Vzhledem k současné snaze vedení ČMI významně navýšit zapojení do metrologických aktivit v oblasti zdravotnické péče a zvýšené intenzitě spolupráce ČMI s předními univerzitami ČR v tomto oboru lze navíc do budoucna očekávat výrazné zlepšené postavení ČMI v této oblasti.

Z hlediska ČMI je významné, že se podařilo zapojení do programu EMPIR rozložit mezi jednotlivá pracoviště ČMI jak z hlediska geografického, tak z hlediska odborného zaměření na jednotlivé metrologické disciplíny. Aktuálně se do řešení programu postupně zapojilo již 194 zaměstnanců ČMI a dá se předpokládat, že do dokončení implementace v roce 2024 toto číslo přesáhne dvě stovky. Významné pro budoucnost je výrazně širší zapojení mladých výzkumných pracovníků ČMI oproti předešlému programu EMRP.

V rámci programu EMPIR se ovšem neúčastnil z ČR pouze ČMI, ale též celá řada dalších subjektů. Program EMPIR umožňoval dle pravidel kromě přímé účasti národních metrologických institutů a jejich přidružených laboratoří i účast dalších výzkumných organizací. Konkrétně dle Přílohy II odstavce 4 rozhodnutí Evropského Parlamentu a Rady (EU) bylo pro tyto ostatní organizace vyhrazeno 15 % rozpočtu programu. Praxe ukázala, že pro subjekty z ČR byla administrativně mnohem jednodušší a snazší cesta účasti na programu EMPIR formou dalších výzkumných organizací než pomocí systému přidružených laboratoří.



Celkové zapojení ostatních organizací do programu EMPIR bylo úspěšné a z národního hlediska ČR odpovídá v rozhodnutí stanoveným 15 %; úplně přesně bude rozsah možné spočítat až po dokončení ještě řešených projektů v roce 2024. Úspěšné zapojení a čerpání finančních evropských prostředků se povedlo jak vysokým školám (Univerzita Karlova v Praze, Univerzita Palackého v Olomouci, ČVUT v Praze) a ústavům Akademie věd (Fyzikální ústav AV ČR, Ústav jaderné fyziky AV ČR, Ústav přístrojové techniky AV ČR, Ústav fyziky plazmatu AV ČR), tak i státním institucím (Státní ústav jaderný, chemické a biologické ochrany, Vojenský technický ústav, CESNET) a průmyslovým podnikům (ADVACAM, MECAS ESI s.r.o., NUVIA a.s.). Řada subjektů z ČR se v průběhu programu EMPIR zapojila opakovaně a byla úspěšná ve více projektech.

### Vyhodnocení programu EMPIR

Celkově je v případě programu EMPIR možné konstatovat, že se jednalo o velmi vhodný, efektivní a společensky přínosný evropský nástroj pro podporu rozvoje metrologie a její uplatnění v průmyslových inovacích a inovacích v oblasti zdravotnictví a ochrany životního prostředí. Velmi zdařilé bylo i zapojení subjektů z České republiky do tohoto programu, a to nejenom ČMI, ale i řady dalších subjektů. V neposlední řadě je potřebné poděkovat ÚNMZ, MPO a MŠMT za dobrou propagaci, koordinaci a administraci zapojení českých subjektů do tohoto programu a zároveň za podporu spojenou s postupným zaváděním a využitím výsledků výzkumu, dosažených v jednotlivých projektech, do metrologické praxe v ČR.



## ANALÝZA ČSN V OBLASTI METROLOGIE

**Ing. František Hnízdil**

*Česká metrologická společnost*

### Úvodem

České technické normy obsahují kvalifikovaná doporučení, která mají reflektovat výsledky technického a vědeckého vývoje a umožnit přijímat vyspělá technická řešení. Se zaváděním evropských norem se ruší konfliktní či překonané původní ČSN v dané oblasti. Tam kde se evropské normy nezavádějí, zůstávají normy z oblasti metrologie neaktualizovány již několik desítek let. V oblasti metrologie bylo při prvním náhledu jasné, že se to týká více než 2000 českých technických norem.

Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto, že Česká metrologická společnost, z.s. navrhne zpracování úkolu Programu rozvoje technické normalizace v roce 2021 pod názvem Analýza ČSN v oblasti metrologie.

Analýza měla poskytnout přehled o normách v oblasti metrologie v následujících oblastech:

- o jejich aktuálnosti k současnému technickému stavu,
- o jejich využití v praxi – četnost využití za posledních 5 let,
- o odkazech na neplatné předpisy a zákony,

Vzhledem k úspěšnosti programu EMPIR z hlediska celkového evropského pohledu i z hlediska ČR lze jenom uvítat skutečnost, že přestože program jako takový skončil, koordinovaný evropský výzkum v oblasti metrologie bude pokračovat nadále, neboť v listopadu 2021 bylo finálně schváleno Evropským parlamentem a Radou EU **Evropské partnerství pro oblast metrologie** [3], které je do značné míry nástupnických programem EMPIR.

### Literatura:

- [1] ROZHODNUTÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) č. 555/2014 ze dne 15. května 2014 o účasti Unie na evropském metrologickém programu pro inovace a výzkum (EMPIR) prováděném společně několika členskými státy. In: Úřední věstník Evropské unie. 2014, L 169/27. Dostupné také z: [https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/2014/555\(2\)/oj](https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/2014/555(2)/oj)
- [2] TESAŘ, Jiří. Zapojení ČR do Evropského metrologického výzkumného programu. Metrologie. 2012 (2), 3-13. ISSN 1210-3543.
- [3] ROZHODNUTÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) č. 2021/2084 ze dne 24. listopadu 2021 o účasti Unie na Evropském partnerství v oblasti metrologie, realizovaném společně několika členskými státy. In: Úřední věstník Evropské unie. 2021, L 427/1. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021D2084>

- d) o využití u metrologických orgánů (ČMI, AMS a ÚM) a předpisů (OOP),
- e) o tom, které normy nebyly třicet a více let revidovány.

### Přístup k řešení

Bylo zřejmé, že se jedná o poměrně rozsáhlý úkol, jehož řešení si vyžádá více času než běžných dvanáct měsíců tak, jak je to obvyklé při zpracování úkolů Programu rozvoje metrologie. Proto byl navrhnout závěrečný termín 31. 03. 2022 a určité pozměnění plánu zpracování. Takto navržený úkol byl přijat.

Zadavatelem úkolu byla stanovena Česká agentura pro standardizaci, státní příspěvková organizace (ČAS) a řešitelem úkolu pak Česká metrologická společnost, z.s.

Po přistoupení ke zpracování úkolu byly stanoveny čtyři hlavní postupy jeho řešení. V první fázi bylo nutno provést základní rešerši, která směřovala k identifikaci tříd norem, které obsahují požadavky na stanovování metrologických charakteristik. Těch bylo nakonec zjištěno 3112, což převýšilo původní odhad o více než polovinu.

Druhým krokem bylo v daném souboru norem nalézt normy nepoužívané a zastaralé, s cílem navrhnout je ke zrušení. Tyto zrušené normy se v online databázi ČSN

přesouvají do skupiny norem, která je i nadále k dispozici, avšak je zřejmé, že jsou zastaralé. Obsahují z pohledu technického stále ještě použitelná řešení. Jen je u nich zřejmé, že nemusí být ze současného pohledu v souladu s legislativou či úrovní techniky a technologie současnosti.

Dalším, třetím krokem, byla analýza norem zaměřená na užívání, aktuálnost a citace norem a odkazy na neplatné normy a předpisy. V rámci této třetí fáze bylo analyzováno celkem 560 norem, což představuje přezkoumání cca 6000 stran textu ČSN. Výstupem analýzy těchto norem se stalo doporučení, jak s nimi dále naložit, tedy zda zrušit, ponechat nebo zrevidovat. Obecně lze říci, že získání přehledu o stavu norem, jejich zrušení nebo aktualizace zastaralých dokumentů přispěje ke zlepšení přehlednosti soustavy ČSN pro uživatele norem.

Poslední fází byla analýza ČSN zaměřená na užívání, aktuálnost a citace norem a odkazy na neplatné normy a předpisy.

## Výstupy úkolu

Výstupem těchto kroků analýzy norem byly čtyři skupiny tabulek (seznamů) obsahující nabídku řešení další práce s danou normou.

První skupina zpracovává ČSN třídy 1 až 24 včetně jedné TNI. Kritérium metrologie zde splňuje 18 norem.

Druhá velká skupina tabulek se týká norem třídy 25, z nich bylo hodnoceno podle výše uvedených kritérií celkem 463 norem.

Třetí skupina tabulek řeší rozbor 2115 norem tříd 26 až 98, analýza s příslušnými návrhy byla provedena u 40 norem.

Poslední čtvrtá skupina zahrnuje 19 norem třídy 99 s příslušným hodnocením a návrhy.

Celkem seznamy obsahují 540 norem (+ 1 TNI), hodnocených podle výše uvedených kritérií (analýza a návrh na další využití, spojené s revizí, aktualizací nebo zneplatněním).

## Výsledky analýzy

Na základě závěrečné zprávy úkolu byly stanoveny níže uvedené výsledky a doporučení.

### Výsledek analýzy norem třídy 01-24

Pro normy, které nepodléhají aktualizaci evropských normalizačních orgánů, bylo vydáno následující doporučení:

Jednu normu a jedno TNI neměnit, 12 norem revidovat a 4 normy zrušit. Tato skupina norem obsahuje kromě ČSN, které přebírají normy evropské (EN), také normy přebírající platné normy ISO (navrhujeme ponechat v soustavě ČSN) a původní ČSN.

### Výsledek analýzy norem třídy 25

Původní normy ČSN pro kalibry, závitová měřidla, závitové kalibry, kontrolní a rýsovací nářadí pochází z padesátých a šedesátých let a neodrážejí současný stav technického poznání. Celá oblast by si zasloužila důkladnější prověrku a porovnání se zahraničními normami, optimálně DIN. Vyjadřování nejistoty při měření chybí. Všechny normy obsahují text „Československá státní norma“, některé i text, který je v dnešní době matoucí, například:

- tato norma je doporučena,
- tato norma je směrná,
- tato norma je závazná,

- norma RVHP, závazná v rámci Úmluvy o uplatňování norem RVHP.

V České republice se některé měrky a kalibry vyrábějí podle norem ČSN. Ve většině případů se však vyrábějí (a především dovážejí) měrky a kalibry zhotovené podle norem DIN, případně i jiných norem evropských států (BSI) nebo US (ANSI). Výroba rovněž probíhá také podle podnikových norem, které by mohly sloužit jako podklad pro tvorbu nových původních ČSN. Celkem se na výrobu měřidel podle těchto norem odkazuje přibližně dvacet výrobců, se kterými by mohl být projednán záměr na zrušení a především jejich participace na revizi zastaralých norem, na které se odkazují ve svých produktových listech.

Z dalších norem vhodných na zrušení uvádíme například normy na skleněné rtuťové lékařské teploměry.

### Výsledek analýzy norem třídy 26-98

Kromě norem přebírajících platné evropské normy (EN a ETSI) jsou převzaty i normy IEC, u kterých nebyla posuzována platnost (36 norem z oblasti elektroniky, informačních systémů a radiových signálů). Analyzováno bylo 43 norem, a z nich navrhujeme zachovat 22 norem, revidovat a odborně posoudit 20 norem, včetně dvou norem z oboru měření světla. Normu na měření desěnu pneumatik navrhujeme zrušit.

### Výsledek analýzy norem třídy 99

Všechny normy této třídy jsou původní ČSN, převážně z devadesátých let. K revizi navrhujeme 7 norem, ke zrušení 12 norem (např. schémata návaznosti).

## Výsledky řešení úkolu

V závěrečné zprávě úkolu Programu rozvoje technické normalizace 2021 s názvem Analýza ČSN v oblasti metrologie navrhujeme celkem 52 norem zrušit, 115 norem revidovat a 152 norem ponechat v soustavě ČSN.

Texty norem navržených ke zrušení často obsahují odkazy na neplatné předpisy, normy RVHP či normy SSSR (Sovětského svazu), texty o závaznosti či směrnosti norem atp. Přefazováním do kategorie norem neplatných by zůstaly v rámci systému on-line norem stále dostupné, ale označené jako neplatné. Mohly by tak být, stejně jako platné normy, legitimně uváděny jako závazné ve smluvních vztazích. Využívání zastaralých norem v obchodních vztazích, byť jen formou odkazu na jejich plnění, může zákazníka zmást a uvést jej v mylný předpoklad, že shodou s citovanou normou výrobek dosahuje očekávaných technických parametrů.

Z analýzy rovněž vyplynulo, že aktuální převzaté normy jsou využívány řádově více než původní zastaralé normy, které jsou využívány sporadicky, s určitými výjimkami, např. norma pro posuvná měřítka, což ale nic nemění na její zastaralosti.

Normy, které jsou navrženy k revizi, jsou zastaralé, a pokud nedojde v dohledné době k jejich revizi, navrhujeme je také zrušit, s výjimkou vybraných norem na měřidla z třídy 25, kde je možný zájem výrobců na jejich revizi. Je proto vhodné s těmito výrobci projednat záměr zrušení norem, případně jejich možnou participaci na revizi těchto norem.

Provedení analýzy je z našeho pohledu dobrým podnětem pro další práci na zkvalitnění technických norem v uvedené oblasti přesto, že je jasné, že tato činnost bude narážet na určité kapacitní možnosti zpracovatelů.

## ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI – PŘINÁŠÍ NOVINKY ZE SVĚTA TECHNICKÝCH NOREM

**Ing. Miroslav Čermák**

*Zdroj: Česká agentura pro standardizaci*



ČESKÁ  
AGENTURA PRO  
STANDARDIZACI

**Během prvního čtvrtletí roku 2022 byly vydány tyto technické normy v oblasti elektrotechniky a strojírenství:**

### **Elektrotechnika, informační technologie a dopravní telematika**

**ČSN EN 50600-2-1 ed. 2 (36 7260) Informační technologie – Zařízení a infrastruktury datových center – Část 2-1: Výstavba budov**

Tento dokument dává pokyny pro výstavbu budov a jiných staveb, které poskytují prostory pro datová centra, založená na kritériích a klasifikaci pro „fyzické zabezpečení“ v rámci EN 50600-1 pro podporu dostupnosti. Dokument stanoví požadavky a doporučení pro umístění a výběr staveniště (s přihlédnutím k přírodnímu prostředí a okolí); ochranu před riziky prostředí; uspořádání staveniště; výstavbu a uspořádání budov; poskytnutí přístupu; ochranu proti nežádoucímu vstupu; fyzickou protipožární ochranu; ochranu před poškozením vodou; opatření pro kvalitu stavby.

**ČSN EN IEC 60335-2-32 ed. 3 (36 1050) Elektrické spotřebiče pro domácnost a podobné účely – Bezpečnost – Část 2-32: Zvláštní požadavky na masážní spotřebiče**

Tato norma se zabývá bezpečností elektrických masážních spotřebičů pro domácnost a podobné účely, jejichž jmenovité napětí není vyšší než 250 V u jednofázových spotřebičů a 480 V u ostatních spotřebičů. Příklady spotřebičů, pro které platí tato norma: masážní spotřebiče nohou, masážní spotřebiče nohou plněné vodou, masážní spotřebiče držené v ruce, masážní lůžka, masážní pásy, masážní křesla, masážní podušky. Norma platí také pro spotřebiče, které nejsou určeny pro normální použití v domácnosti, ale které přesto mohou představovat nebezpečí pro veřejnost, jako jsou spotřebiče určené pro použití neznalými osobami v obchodech, lehkém průmyslu a zemědělství.

**ČSN EN 60335-2-21 ed. 3 (36 1050) Elektrické spotřebiče pro domácnost a podobné účely – Bezpečnost – Část 2-21: Zvláštní požadavky na akumulární ohřivače vody**

Tato norma se zabývá bezpečností elektrických akumulárních ohřivačů vody pro domácnost a podobné účely, které jsou určeny pro ohřev vody na teplotu nižší než teplotu varu, přičemž jejich jmenovité napětí nepřesahuje 250 V u jednofázových spotřebičů a 480 V u ostatních spotřebičů. Tato norma také platí pro spotřebiče, které nejsou určeny pro normální používání v domácnostech, ale mohou přesto představovat zdroj nebezpečí pro veřejnost, jako jsou spotřebiče určené pro používání neznalými osobami v obchodech,

lehkém průmyslu a zemědělství. Norma rovněž platí pro jednotky s ponornými ohřivači určené pro dodatečnou montáž v uzavřeném ohřivači vody s tepelným výměníkem, který je opatřen prostředky pro dodatečnou montáž. Takováto jednotka musí splňovat požadavky přílohy AA.

**ČSN EN IEC 62841-3-7 (36 1510) Elektromechanické ruční nářadí, přenosné nářadí a žací a zahradní stroje – Bezpečnost – Část 3-7: Zvláštní požadavky na přenosné stěnové pily**

Tato norma platí pro přenosné stěnové pily vedené vodičím kolejnicovým systémem, které jsou určeny pro suché řezání nebo k připojení ke kapalinovému systému a jsou určeny k řezání betonu, kamene nebo podobného materiálu pomocí diamantového kotouče. Jmenovité otáčky diamantového kotouče nepřesahují obvodovou rychlost 100 m/s pro jmenovitý průměr nástroje.

**ČSN EN IEC 62841-2-3 (36 1510) Elektromechanické ruční nářadí, přenosné nářadí a žací a zahradní stroje – Bezpečnost – Část 2-3: Zvláštní požadavky na ruční brusky, talířové rovinné leštičky a talířové rovinné brusky**

Tato část IEC 62841 platí pro ruční brusky, talířové rovinné leštičky a talířové rovinné brusky, včetně úhlových, přímých a svislých brusek, které jsou určeny pro použití na různých materiálech kromě hořčíku, jejichž jmenovitý průměr nástroje nepřevyšuje 230 mm. Jmenovité otáčky naprázdno brusek nepřevyšují obvodovou rychlost příslušenství 80 m/s pro jmenovitý průměr nástroje.

**ČSN EN IEC 62841-4-3 (36 1510) Elektromechanické ruční nářadí, přenosné nářadí a žací a zahradní stroje – Bezpečnost – Část 4-3: Zvláštní požadavky na ručně vedené sekačky trávy**

Tato norma platí pro konstrukci ručně vedených vřetenových sekaček trávy a rotačních sekaček trávy vybavených kovovým žacím ústrojím a/nebo pevným nekovovým žacím ústrojím a/nebo nekovovým žacím ústrojím s jedním nebo více žacími prvky, které jsou otočně namontované na zpravidla kruhové pohonné jednotce, kde se tyto žací prvky spoléhají na odstředivou sílu, aby mohly sekat, a mají kinetickou energii na každý jednotlivý žací prvek vyšší než 10 J.

**ČSN EN IEC 61243-1 ed. 2 (35 9724) Práce pod napětím – Zkoušečky napětí – Část 1: Kapacitního typu pro použití při střídavém napětí nad 1 kV**

Tato norma se vztahuje na přenosné zkoušečky napětí s vestavěným zdrojem napětí nebo bez vestavěného zdroje, používané v elektrických sítích střídavého napětí s napětím od 1 kV do 800 kV a kmitočty 50 Hz a/nebo 60 Hz. Norma se týká pouze zkoušeček napětí kapacitního typu používaných k dotyku ke zkoušeným dílům, které mohou být jako kompletní zařízení, včetně izolačního prvku, nebo jako oddělitelné zařízení přizpůsobené k izolační tyči, která jako oddělitelná pomůcka není zahrnuta v této normě (viz 4.4.2.1, obecná konstrukce). Ostatní typy zkoušeček napětí nejsou tímto dokumentem pokryty.



**ČSN P CEN/TS 17378 (01 8507) *Inteligentní dopravní systémy – Městské ITS – Řízení kvality ovzduší v městských oblastech***

Norma poskytuje informace, pokyny a specifikace požadavků a možností, jak nastavit strategii řízení kvality ovzduší a jak nasadit spolehlivé a škálovatelné technologie pro průběžné nebo pravidelné monitorování kvality ovzduší a reagovat na ně vhodnými opatřeními. Norma definuje technologické koncepce, které poskytují spolehlivá a otevřená data, a definuje funkční požadavky na měřicí zařízení, která taková data poskytují. To poskytuje prostředky pro měření kvality ovzduší požadované příslušnými směrnicemi EU. Dále poskytuje informace a specifikace umožňující stanovit různé úrovně kvality ovzduší, podle nichž se spustí odpovídající scénář.

**ČSN EN 50699 (33 1600) *Opakované zkoušky elektrických spotřebičů***

Tato norma poskytuje jednotný zkušební postup pro zkoušení účinnosti ochranných opatření elektrické bezpečnosti při pravidelných (periodických) zkouškách spotřebičů a přístrojů v průběhu jejich životního cyklu na pracovištích. Postupy popsané v této normě jsou použitelné pro elektrické spotřebiče připojené ke koncovým obvodům na pracovištích se jmenovitým napětím od 25 V AC a 60 V DC do 1000 V AC a 1500 V DC s proudy do 63 A.

**ČSN EN IEC 61010-2-202 ed. 2 (35 6502) *Bezpečnostní požadavky na elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení – Část 2-202: Zvláštní požadavky pro elektricky řízené regulátory ventilů***

Tato norma představuje jednu část velmi důležité řady norem IEC 61010, které se zabývají bezpečností při měření v oblasti řízení průmyslových procesů a automatizace. Norma tak představuje velmi důležitý prvek zajišťující bezpečnost elektrického zařízení používaného pro měření, řízení a laboratorní účely, včetně bezpečnosti obsluhujícího personálu, který tato zařízení obsluhuje.

**ČSN EN IEC 61010-2-030 ed. 2 (35 6502) *Bezpečnostní požadavky na elektrická měřicí, řídicí a laboratorní zařízení – Část 2-030: Zvláštní požadavky na zkušební a měřicí obvody***

Tato norma specifikuje bezpečnostní požadavky na zkušební a měřicí obvody, které jsou připojeny pro účely zkoušení nebo měření k zařízením nebo obvodům mimo samotné měřicí zařízení. Patří mezi ně měřicí obvody, které jsou součástí elektrického zkušebního a měřicího zařízení, laboratorní zařízení nebo zařízení pro řízení procesů. Existence těchto obvodů v zařízení vyžaduje dodatečné ochranné prostředky mezi obvodem a obsluhou. Zařízení obsahující tyto měřicí obvody mohou být určeny pro provádění zkoušek a měření na nebezpečných vodičích, včetně síťových vodičů a vodičů telekomunikačních sítí.

**ČSN P ISO/IEC TS 27110 (36 9773) *Bezpečnost informací, kybernetická bezpečnost a ochrana soukromí – Směrnice pro vývoj rámce kybernetické bezpečnosti***

Tento dokument specifikuje pokyny pro vývoj rámce kybernetické bezpečnosti. Kybernetická bezpečnost představuje naléhavý problém v souvislosti s používáním propojených

technologií. Nástroje, které pomáhají organizacím nebo jednotlivcům při činnostech a komunikaci v oblasti kybernetické bezpečnosti, se nazývají rámce kybernetické bezpečnosti. Tento dokument stanovuje minimální sadu konceptů při tvorbě rámce kybernetické bezpečnosti. Je určen zejména pro tvůrce rámců kybernetické bezpečnosti bez ohledu na typ, velikost nebo povahu jejich organizací.

**ČSN ISO/IEC 27102 (36 9720) *Správa a řízení bezpečnosti informací – Směrnice pro pojištění kybernetických rizik***

Tato norma poskytuje směrnice při zvažování pojištění kybernetických rizik jako doplňku opatření bezpečnosti informací v rámci účinného přístupu k ošetření rizik. Kybernetické hrozby a kybernetické útoky, kterým musí čelit různé organizace, jsou stále četnější a sofistikovanější, a jejich dopady na organizaci mohou mít velice vážné důsledky. Pojištění kybernetických rizik nenahrazuje celkový systém řízení rizik a opatření bezpečnosti informací organizace, ale mělo by být považováno za jeho důležitou součást, která zvyšuje odolnost organizace a snižuje dopady kybernetického incidentu. Tato norma je použitelná pro organizace všech typů a velikostí.

**ČSN EN IEC 60068-2-38 (34 5791) *Zkoušení vlivů prostředí – Část 2-38: Zkoušky – Zkouška Z/AD: Složená cyklická zkouška teplotou a vlhkostí***

V této části IEC 60068 je specifikován postup složené zkoušky přednostně určené pro vzorky typu součástka pro zrychlené stanovení odolnosti vzorků vůči znehodnocujícím vlivům podmínek vysoké teploty/vlhkosti a chladu.

Tato zkušební norma se nepoužívá pro vzorky, které jsou napájeny během celé zkoušky. Vzorky mohou být napájeny během konstantních fází zkoušek. Měření na napájených vzorcích se typicky provádějí během konstantních fází zkoušky, není-li specifikováno něco jiného.

**ČSN EN IEC 60068-2-11 (34 5791) *Zkoušení vlivů prostředí – Část 2-11: Zkoušky – Zkouška Ka: Solná mlha***

Tato část IEC 60068 specifikuje metodu zkoušení určenou k posouzení korozní odolnosti součástí elektrotechnických výrobků, zařízení a materiálů v prostředí solné mlhy. Jejím cílem je ověřit uchování srovnatelné kvality kovového materiálu (bez ochrany proti korozi nebo s ní) vystaveného působení solné mlhy.

Tato metoda zkoušení je užitečná k hodnocení kvality a stejnoměrnosti povlaků nanesených za účelem ochrany kovů proti korozi. Je zvláště užitečná ke zjišťování nespojitostí, např. pórů a jiných vad, v určitých kovových, organických, anodických oxidových a konverzních povlácích.

**ČSN EN IEC 62061 ed. 2 (33 2208) *Bezpečnost strojních zařízení – Funkční bezpečnost řídicích systémů souvisejících s bezpečností***

Tato mezinárodní norma specifikuje požadavky a uvádí doporučení na návrh, integraci a potvrzení platnosti (validaci) řídicích systémů souvisejících s bezpečností (SCS) pro stroje. Je použitelná pro řídicí systémy použité buď jednotlivě, nebo v kombinaci pro zajištění bezpečnostních funkcí strojů, které nejsou při své činnosti přenosné, včetně skupin strojů koordinovaně společně pracujících. Hlavní část této sektorové normy specifikuje obecné požadavky na návrh

a ověření (verifikaci) řídicího systému určeného k použití ve vysoce náročném/nepřetržitém režimu.

**ČSN EN IEC 61439-1 ed. 3 (35 7107) Rozváděče nízkého napětí – Část 1: Obecná ustanovení**

Tato norma stanoví obecné definice a provozní podmínky, konstrukční požadavky, technické charakteristiky a požadavky na ověřování rozváděčů nízkého napětí a řídicích zařízení. Norma byla vydána v anglickém jazyce, český překlad normy je zpracováván.

**ČSN EN IEC 61439-2 ed. 3 (35 7107) Rozváděče nízkého napětí – Část 2: Výkonové rozváděče**

Tato norma stanovuje požadavky na výkonové rozváděče. Norma platí také pro rozváděče pro použití ve fotovoltaických instalacích.

**ČSN EN IEC 61851-21-2 (34 1590) Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením – Část 21-2: Požadavky na elektrická vozidla pro vodivé připojení k AC/DC napájení – EMC požadavky na externí nabíjecí systémy elektrického vozidla**

Tato norma stanoví EMC požadavky na všechny komponenty anebo zařízení externích systémů používaných k napájení nebo nabíjení elektrických vozidel pomocí nabíjecích kabelů. Norma platí i pro externí nabíječky, ale nevztahuje se na žádné součásti potřebné pro nabíjení, které jsou namontovány ve vozidle.

**ČSN EN IEC 61851-25 (34 1590) Systém nabíjení elektrických vozidel vodivým propojením – Část 25: DC napájecí zařízení EV, ve kterém ochrana spočívá na elektrické oddělení**

Tato norma stanoví požadavky na stejnosměrná napájecí zařízení elektrických vozidel, jejichž sekundární obvod je chráněn elektrickým oddělením před primárním obvodem. Norma také stanoví požadavky na ovládání a komunikaci mezi napájecím zařízením a elektrickým vozidlem.

## Strojírenství

**ČSN EN 10217-7 (42 1043) Svařované ocelové trubky pro tlakové účely – Technické dodací podmínky – Část 7: Trubky z korozivzdorných ocelí**

Tento dokument stanovuje technické dodací podmínky pro dvě zkušební kategorie pro svařované trubky s kruhovým příčným průřezem, vyrobené z austenitické a austeniticko-feritické korozivzdorné oceli, která se používá pro tlakové a korozivzdorné účely při pokojové teplotě, při nízkých teplotách nebo při zvýšených teplotách.

**ČSN EN ISO 7083 (01 3138) Technická dokumentace produktu – Značky používané v technické dokumentaci produktu – Tvary a rozměry**

Norma specifikuje doporučené tvary značek použitých v technické dokumentaci produktů. Uvádí doporučené rozměry na základě mřížky vztahující se k použité tloušťce čar. Nevztahuje se na značky používané v dokumentaci technologických procesů, na které se vztahuje ISO 81714-1. Tvary značek vycházejí ze standardních výšek písma uvedených v ISO 3098-1.

**ČSN EN ISO 19085-1 (49 6070) Dřezpracující stroje – Bezpečnost – Část 1: Společné požadavky**

Norma uvádí bezpečnostní požadavky a opatření ke snížení rizik vznikajících během provozu, seřizování, údržby, přepravy, montáže, demontáže, při poruše a vyřazení v souvislosti s dřezpracujícími stroji schopnými nepřetržitého výrobního použití, dále jen „stroje“. Tyto bezpečnostní požadavky a opatření jsou společná pro většinu strojů, pokud jsou používány v souladu s určením a za podmínek předpokládaných výrobcem; uvažováno bylo také rozumně předvídatelné zneužití.

**ČSN EN 1175 (26 8830) Bezpečnost motorových vozíků – Požadavky na elektrické a elektronické systémy**

Norma stanovuje elektrické požadavky na návrh a konstrukci elektrické instalace průmyslových vozíků s vlastním pohonem, které spadají do oblasti působnosti ISO 5053-1, s výjimkou vozíků s proměnným vyložením, jak jsou definovány v ISO 5053-1:2015, 3.21 a 3.22, obkročných transportérů, jak jsou definovány v ISO 5053-1:2015, 3.18 a 3.19, a specifických funkcí, dílů a/nebo systémů používaných pro automatický provoz průmyslových vozíků bez řidiče, jak jsou definovány v ISO 5053-1:2015, 3.32. Poskytuje elektrické/elektronické a bezpečnostní části požadavků na řídicí systém pro výše uvedené průmyslové vozíky, aby splnily požadavky v příslušné části dokumentů řady EN ISO 3691 a EN 16307.

**ČSN EN 15011 (27 0210) Jeřáby – Mostové a portálové jeřáby**

Norma platí pro mostové a portálové jeřáby pojezdějících na kolech po kolejnicích, jeřábových drahách nebo po ploše jízdní dráhy a pro portálové jeřáby bez kol, namontovaných v pevné poloze. Stanovuje požadavky pro všechna významná nebezpečí, nebezpečné situace a události týkající se mostových a portálových jeřábů, které jsou používány podle svého určení a za podmínek předpokládaných výrobcem.

**ČSN EN ISO 28139 ed. 2 (47 1005) Zařízení na ochranu rostlin – Zádové rosiče poháněné spalovacím motorem – Bezpečnostní a environmentální požadavky a zkušební metody**

Norma specifikuje bezpečnostní požadavky a jejich ověřování, environmentální požadavky a související zkušební metody a minimální limity výkonu pro návrh a konstrukci zádových rosičů poháněných spalovacím motorem. Popisuje metody pro vyloučení nebo snížení nebezpečí vyplývajících z jejich používání. Kromě toho specifikuje typ informací o bezpečných pracovních postupech, které má poskytnout výrobce. Norma se zabývá všemi významnými nebezpečími, nebezpečnými situacemi a událostmi kromě těch, které vznikají v důsledku vibrací přenášených na záda obsluhy.

**ČSN EN ISO 14945 ed. 2 (32 1021) Malá plavidla – Štítek zhotovitele**

Norma specifikuje požadavky na jednotné zobrazování informací uváděných na štítku zhotovitele pro malá plavidla. Dokument se nevztahuje na vodní skútry.

**ČSN EN 10222-2+A1 (42 0290) Ocelové výkovky pro tlakové účely – Část 2: Feritické a martenzitické oceli pro použití při vyšších teplotách**

Tato část evropské normy stanovuje technické dodací podmínky pro výkovky pro tlakové účely vyrobené z feritických a martenzitických ocelí pro použití při vyšších teplotách. Stanovuje chemické složení a mechanické vlastnosti.

## INFORMACE O PRÁCI ČESKÉHO KALIBRAČNÍHO SDRUŽENÍ Z.S. (ČKS)

**Ing. Jiří Kazda***předseda výboru ČKS***Úvod**

České kalibrační sdružení je zájmovým sdružením akreditovaných a autorizovaných laboratoří a dalších zájemců o metrologii, a hlavně o oblast kalibrací pracovních měřidel a ověřování stanovených měřidel. V rámci Sdružení působí sekce pro ověřování tachografů. Počet členů sdružení v současné době přesahuje stovku.

České kalibrační sdružení uspořádalo obvyklou jarní konferenci spojenou se schůzí spolku. **61. konference ČKS** se konala ve dnech 31. 5. a 1. 6. 2022 tradičně v hotelu Skalský Dvůr v Lísku u Bystřice nad Pernštejnem.

V rámci **schůze spolku** byli členové ČKS seznámeni s činností od poslední konference. Byl uspořádán odkládaný dvoudenní seminář „Vodoměry a měřidla tepla“, kterého se zúčastnila většina AMS pracujících v této oblasti. Dále zástupci ČKS zastupují členy v Radě pro metrologii ÚNMZ, Radě pro akreditaci ČIA a v Technickém výboru pro kalibrační laboratoře ČIA. Členové byli seznámeni se zprávou o hospodaření v roce 2021 a se zprávou o revizi hospodaření za rok 2021. Byl přednesen plán činnosti ČKS na další období a návrh usnesení, který byl členy schválen.

Odborná část konference měla mnoho zajímavých přednášek.

Generální ředitel ČMI doc. RNDr. Jiří Tesař, Ph.D. se věnoval **Digitalizaci metrologie v ČR**, metrologii pro alternativní energetické zdroje, metrologii pro oblast zdravotnictví (včetně nových biotechnologií) a redefinice jednotek SI. Ředitel odboru metrologie ÚNMZ Ing. Zbyněk Veselák se věnoval **Aktuálním informacím z ÚNMZ**. Ing. Pavel Nosek, náměstek ředitele ČIA informoval o **Nových aktivitách ČIA** a Ing. Martin Valenta (ČIA) se věnoval **Akreditaci kalibračních laboratoří – vývoj v posuzování, úkolech a dokumentech ČIA**.

Prof. Dr. Siegfried Hackel, PTB, SRN poskytl přednášku na téma **Digitální kalibrační list, certifikát**. Tuto přednášku přeložil a prezentoval Ing. Daniel Šťastný (PROMETROLOGY 5.0 s.r.o.). Doc. Ing. Jiří Horský, CSc. zpracoval příspěvek na téma **Kalibrace mimo stálé prostory** a přednesl jej Ing. Jiří Kazda. Ing. Zdeněk Faltus, BD Sensors prezentoval výstup úkolu programu rozvoje metrologie **Principy kalibrace v oboru tlak**.

Druhý den konference zazněly následující přednášky: **Práce s tolerancí a nejistotou při měření malých hodnot**, Ing. Daniel Šťastný; **Kalibrace pístových pipet**, Mgr. Martina Vičarová, Ph.D. (ČMI); **Nové vydání normy ČSN EN 12830:2019 „Přístroje pro záznam teploty při přepravě, skladování a distribuci tepelně citlivého zboží – zkoušky, provedení, způsobilost**, Ing. Martin Koval (ČMI); **Práce s kalibračními listy z pohledu auditora**; Ing. Daniel Šťastný.

Také sekce tachografy měla přednášky přínosné pro AMS tachografy:

**Zkušenosti a praktické poznatky ČMI z prověřování způsobilosti AMS v oblasti tachografů**, Ing. Jiří Juza, (ČMI); **Bezpečnost práce v autodopravě**, Ing. Olga Valášková (inspektor SUIP); **Tachografy společnosti Intellic**, Ing. Vladislava Hýblová (Tachtax s.r.o.); **Výsledky kontrol dopravců a řidičů vnitrostátní a mezinárodní nákladní dopravy**, Ing. Aleš Maxa (rada Policejního prezidia ČR); **Výhled do budoucna (Nový inteligentní tachograf VDO, WT II a časté potíže při ověřování)**, Mgr. Jakub Soběslav (Mechanika Teplice – VDO); **Co je to CAN?** Jakub Stein (Mechanika Teplice – VDO); **Důvody novelizace nařízení (EU) 165/2014**, Ing. Jiří Novotný (CDV, v.v.i.); **Tachografy Stoneridge, novinky**, Ing. Karel Jelínek (Hale Nord Bohemia – Stoneridge).

ČKS úzce spolupracuje s partnerským Kalibračním sdružením SR (KZSR). Kromě vzájemných účastí na konferencích se členové výboru pravidelně jednou ročně setkávají na společném zasedání. Koronavirová opatření tato setkání přerušila na dva roky. Tentokrát v červnu setkání organizovalo ČKS na Olomoucku. Hlavními tématy společné diskuze bylo:

- Vyhodnocení spolupráce za uplynulé období
- Informace o akcích, přednáškách, přednášejících a tématech KZSR, ČKS
- Informace o činnosti výborů KZSR a ČKS
- Informace o činnosti EUROCAL a plán dalších aktivit
- Aktuální otázky (problémy) akreditace SNAS, ČIA
- Spolupráce s organizacemi (metrologickými) v ČR a SR.
- Aktuální problémy v oblasti metrologie zejména ve vztahu k činnostem akreditovaných kalibračních laboratoří
- Společné cíle v dalším období (kurzy, semináře, výměna lektorů...)
- Směřování aktivit ČKS a KZSR, odborné zaměření, oživení činnosti a konferencí.

Jako doprovodný program byla prohlídka hradu Plumlov, exkurze v Palírně u zeleného stromu v Prostějově, exkurze ve společné laboratoři optiky AV ČR a Univerzity Palackého Olomouc a návštěva akreditované kalibrační laboratoře EHSQ Blatec, která kalibruje měřidla v oboru délky, momentu síly a vibrací. Další setkání výborů ČKS a KZSR bude v roce 2023 organizováno slovenskou stranou.

**ČKS plánuje ve druhém pololetí roku 2022**

- Seminář „**Nejistoty měření**“ je plánován na dny 25. a 26. října 2022 v hotelu Skalský dvůr v Lísku u Bystřice nad Pernštejnem
- **62. Odborná konference ČKS** spojená se schůzí spolku se uskuteční ve dnech 22. a 23. 11. 2022 také v hotelu Skalský dvůr v Lísku u Bystřice nad Pernštejnem.

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



## NABÍDKA AKCÍ ČMS na II. pololetí roku 2022



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

Novotného lávka 5, 110 00 Praha 1  
tel.: 606 957 233  
e-mail: [cms-zk@csvts.cz](mailto:cms-zk@csvts.cz)  
[www.spolky-csvts.cz/cms](http://www.spolky-csvts.cz/cms)



Místo a datum konání	Kód akce	Název akce
12. září 2022 ČSVTS Praha, Novotného lávka 5, sál č. 318	K 585-22	Analýza a statistické zpracování dat II
3. říjen 2022 ČSVTS Praha, Novotného lávka 5, sál č. 318	K 586-22	Spolehlivost v metrologii
17. říjen 2022 ČSVTS Praha, Novotného lávka 5, sál č. 318	K 591-22	Aplikace normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2018
19. říjen 2022 ČSVTS Praha, Novotného lávka 5, sál č. 318	K 587-22	Plán rozvoje metrologie Nové dokumenty ČMS v roce 2021

Místo a datum konání	Kód akce	Název akce
14. listopad 2022 ČSVTS Praha, Novotného lávka 5, sál č. 318	K 588-22	Řízení metrologie v organizaci
21. listopad 2022 ČSVTS Praha, Novotného lávka 5, sál č. 213	K 589-22	Měření elektrických veličin s praktickými ukázkami kalibrace vybraných měřidel
28. 11. až 1. 12. 2022 ČSVTS Praha Novotného lávka 5, sál č. 213	K 590-22	56. Základní kurz metrologie
Trvalá nabídka	K 90	Korespondenční kurz metrologie

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

Další informace o připravovaných akcích včetně přihlášek ke stažení jsou/budou uváděny na webových stránkách ČMS [www.spolky-csvts.cz/cms](http://www.spolky-csvts.cz/cms) v menu Odborné akce/Kalendář akcí ČMS: <https://www.spolky-csvts.cz/cms/kalendar-akci-cms>.

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

### Redakční rada:

Ing. Zdeňka Pohořelá (předsedkyně), Mgr. Kristýna Vančurová (místopředsedkyně), Ing. Miroslav Čermák, Mgr. Václava Holušová, Doc. Ing. Jiří Horský, CSc., Ing. František Jelínek, CSc., Ing. Jiří Kazda, Šárka Kotlíková, Ing. Pavel Nosek, RNDr. Klára Popadičová, Ing. Pavel Rubáš, Ing. Radek Sedláček, Ph.D., doc. RNDr. Jiří Tesař, Ph.D., Ing. Josef Vojtíšek. Přizvaní: PhDr. Bořivoj Kleník – šéfredaktor. Časopis vychází 4 x ročně. Cena výtisku 80,- Kč, roční předplatné 320,- Kč + poštovné a balné + 10 % DPH. Vydavatel: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) ve spolupráci s Českým metrologickým institutem, Českou metrologickou společností a Českým kalibračním sdružením. Sídlo vydavatele: ÚNMZ, Na Žertvách 132/24, 180 00 Praha 8. IČO: 48135267. Povolení tisku: registrace MK ČR 6111, MIČ 46 676, ISSN 1210-3543.

Místo vydávání: Praha. Datum vydání: srpen 2022. Nakladatelský servis, předplatné a inzerce: PhDr. Bořivoj Kleník, Bezdědice 19, 294 25 Katusice, mobil: 603 846 527, e-mail: [klenik@q-art.cz](mailto:klenik@q-art.cz). Nevyžádané materiály se nevracejí. Za původnost a správnost příspěvků odpovídají autoři.

### Foto na obálce:

Bezpilotní vrtulník SDO 50 V2 s polovodičovým detektorem pro detekci záření gama IDM 200 V před testovacím letem ve švýcarském Spiez.

### Photo on the front page:

Unmanned helicopter SDO 50 V2 equipped with high purity germanium gamma radiation detector IDM 200 V prior a test flight in Spiez, Switzerland.

