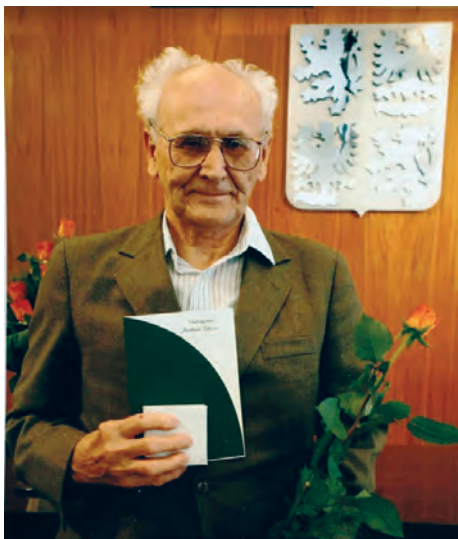


4/2023  
ROČNÍK 32

# METROLOGIE

VĚDECKÁ  
LEGÁLNÍ  
PRAKTICKÁ





## 95 let profesora Ing. Jindřicha Vítovce, CSc.

Jménem redakce časopisu Metrologie blahopřejeme k významnému životnímu jubileu profesoru Ing. Jindřichu Vítovcovi, CSc., který oslavil v září letošního roku 95. narozeniny.

Pan profesor patří k významným osobnostem, které se podílely na prezentování a rozvoji metrologie v České republice.

Neopominutelná je zejména skutečnost, že se spolupodílel na vzniku České metrologické společnosti v roce 1990 a byl dlouhá léta členem jejího předsednictva. Přednášel a publikoval v odborných časopisech a věnoval se výchově několika generací metrologů. Byl rovněž zakladatelem certifikačního místa (certifikační orgán č. 3008) ČMS, které dodnes certifikuje odbornou způsobilost personálu v oblasti metrologie a zkušebnictví. Pozici vedoucího tohoto certifikačního orgánu opustil až ve svých úctyhodných 93 letech, a to jen kvůli své zrakové indispozici..

K blahopřání se připojují nejen čtenářky a čtenáři časopisu Metrologie, ale zejména členky a členové ČMS. U všech se prolíná poděkování za inspiraci a kritické podněty s díkem za osobní přístup a rozvoj komunity metrologů.

Přejeme vše nejlepší, hodně zdraví a elánu do dalších let!



*Redakce časopisu Metrologie a členové ČMS*

**METROLOGIE V PRAXI**

**RNDr. Simona Klenovská; RNDr. Pavel Klenovský**  
Mezilaboratorní porovnání organizovaná českým  
metrologických institutem – historie a současnost .....2

**doc. Ing. Radek Procházka, Ph.D.**

**Ing. Jan Hlaváček, Ph.D.**

**doc. Ing. Karel Draxler, CSc.**

Ověřování kalibrátorů částečných výbojů  
pro hodnoty náboje menší než 10 pC.....12

**Ing. Jiří Kazda**

Informace ČKS z.s.....15

**Ing. Jana Horská, Ph.D.**

Přívody měřicích přístrojů a jejich vliv na měření –  
Část III .....16

**Ing. Ivan Kříž**

Vysokorychlostní vážicí systémy .....19

**Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.**

Metodiky měření

Někdy mají malé úpravy velké přínosy.....23

**VĚDA A VÝZKUM**

**Prof. Ing. Jaroslav Boháček, DrSc.**

**Ing. Martin Šimůnek**

Kvadrifilární odporové etalony s vypočítatelnými  
kmitočtovými závislostmi .....27

**Ing. Jan Rusňák, Ph.D.**

AlphaMet: Metrologie pro nové cílené  
alfa terapie .....29

**ZKUŠEBNICTVÍ**

**Mgr. Václava Holušová**

Mezilaboratorní porovnávací zkoušky stanovení  
činitele prostupu přímého solárního záření  
zasklením pomocí spektrofotometru –  
porovnání výstupů zkušebních laboratoří  
z několika států .....32

**INFORMACE**

**Ing. Bc. Květa Kabátníková**

Implementace metody BIM na národní  
úrovni.....35

**Ing. Miroslav Čermák**

Česká agentura pro standardizaci přináší  
novinky ze světa technických norem .....37

Nabídka akcí ČMS na I. pololetí roku 2024

**METROLOGY IN PRACTICE**

**RNDr. Simona Klenovská; RNDr. Pavel Klenovský**  
Interlaboratory Comparisons Organised by the Czech  
Metrology Institute - History and Present .....2

**doc. Ing. Radek Procházka, Ph.D.**

**Ing. Jan Hlaváček, Ph.D.**

**doc. Ing. Karel Draxler, CSc.**

Verification of Partial Discharge Calibrators  
for Charge Values Less than 10 pC.....12

**Ing. Jiří Kazda**

Information from the Czech Calibration Association...15

**Ing. Jana Horská, Ph.D.**

Inputs of Measuring Instruments and Their Effect  
on Measurement - Part III.....16

**Ing. Ivan Kříž**

High-Speed Weighing Systems .....19

**Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.**

Measuring Methodologies

Small Adjustments May Have Big Benefits.....23

**SCIENCE AND RESEARCH**

**Prof. Ing. Jaroslav Boháček, DrSc.**

**Ing. Martin Šimůnek**

Quadrifilar Standards of Resistance with Computable  
Frequency Dependences.....27

**Ing. Jan Rusňák, Ph.D.**

AlphaMet: Metrology for New Targeted  
Alpha Therapies .....29

**TESTING**

**Mgr. Václava Holušová**

Interlaboratory Comparative Tests to Determine  
the Penetration Factor of Direct Solar Radiation  
through Glazing Using a Spectrophotometer -  
Comparison of Outputs of Test Laboratories  
from Several Countries .....32

**INFORMATION**

**Ing. Bc. Květa Kabátníková**

Implementation of the BIM Method at the National  
Level.....35

**Ing. Miroslav Čermák**

Czech Standardization Agency -  
News from the World of Technical Standards .....37

The List of ČMS Events in the 1<sup>st</sup> Half of 2024

### Vážení odběratelé a čtenáři časopisu Metrologie

Upozorňujeme, že zájemci o odběr časopisu Metrologie by si měli zajistit **předplatné** formou objednávky předplatného pro rok 2024.

Objednávku zašlete poštou nebo mailem na: PhDr. Bořivoj Kleník, nakladatelský servis Q-art, Bezdědice 19, 294 25 Katusice. IČ-17004438, DIČ-CZ500723418, mobil: 603 846 527, e-mail: [klenik@q-art.cz](mailto:klenik@q-art.cz)

## MEZILABORATORNÍ POROVNÁNÍ ORGANIZOVANÁ ČESKÝM METROLOGICKÝCH INSTITUTEM – HISTORIE A SOUČASNOST

**RNDr. Simona Klenovská**

**RNDr. Pavel Klenovský**

*Český metrologický institut*

Měřením různých veličin se zabývá velké množství podniků a laboratoří, protože už anglický fyzik Thompson na konci předminulého století tvrdil, že co nelze změřit, nelze ani vyrobit. Každý takový subjekt má nějaké své technické vybavení, odpovídající laboratorní prostory, odborné pracovníky, takže aby bylo možné se spolehnout na výsledky měření takových laboratoří, je nutná informace o správnosti a přesnosti jejich měření. K tomuto účelu slouží mezilaboratorní porovnání, tedy porovnání výsledků měření předmětných laboratoří s nějakou laboratoří na vyšší metrologické úrovni, která má správnost svých měření garantovanou porovnáním na nejvyšší mezinárodní úrovni nebo má zajištěnou primární návaznost. V metrologii tedy nemusíme u technické způsobilosti laboratoří spoléhat jen na dokumentaci, byť by byla sebelepší – máme k dispozici nástroj, který jejich způsobilost prověří v reálných podmínkách.

Mezilaboratorní porovnání (v ČR používaná zkratka MPZ, která pochází ještě z původního překladu anglického termínu „interlaboratory comparison“) je dnes jedním z nejdůležitějších nástrojů pro zajišťování technické způsobilosti laboratoří, v případě měření fyzikálních veličin se jedná o kalibrační laboratoře. Tato činnost hraje klíčovou roli ve všech systémech managementu laboratoří (akreditace, mezinárodní ujednání CIPM MRA) jako jejich hlavní technický

prvek. Většina kalibračních laboratoří je akreditována národním akreditačním orgánem, který jako součást akreditace a pravidelného dozoru vyžaduje pravidelnou účast laboratoří v odpovídající programech MPZ (obecně „zkoušení způsobilosti“). V oblasti akreditace je stanovena minimální úroveň účasti akreditovaných KL v programech zkoušení způsobilosti, která je obecně dána dokumentem ILAC P9:06/2014 „Politika ILAC pro účast v aktivitách zkoušení způsobilosti“ transponovaný do českého akreditačního systému dokumentem ČIA MPA 30-03-23:

- laboratoř se musí zúčastnit MPZ před získáním akreditace;
- další účast v MPZ odpovídá rozsahu akreditace a musí být v souladu s plánem účasti ve zkoušení způsobilosti dané laboratoře, který je odsouhlasen příslušným akreditačním orgánem;
- v průběhu akreditačního období (5 let) musí MPZ pokrýt všechny hlavní obory kalibrace.

Český metrologický institut je organizátorem mezilaboratorních porovnání asi od roku 1995, v těchto letech se realizovalo jen velmi omezené množství porovnání, které odpovídalo tehdy malému počtu akreditovaných laboratoří či žadatelů o akreditaci. Porovnání byla organizována převážně pro metrologická střediska autorizována ÚNMZ pro ověřování stanovených měřidel. S nárůstem akreditovaných laboratoří se však tento poměr obrátil ve prospěch kalibračních laboratoří, které nyní tvoří až 90 % všech účastníků porovnání. V počátečních letech byly účastníky takových porovnání pouze české, popř.



**Obr. 1:** Země původu laboratoří zúčastněných v programech MPZ organizovaných ČMI - celosvětově

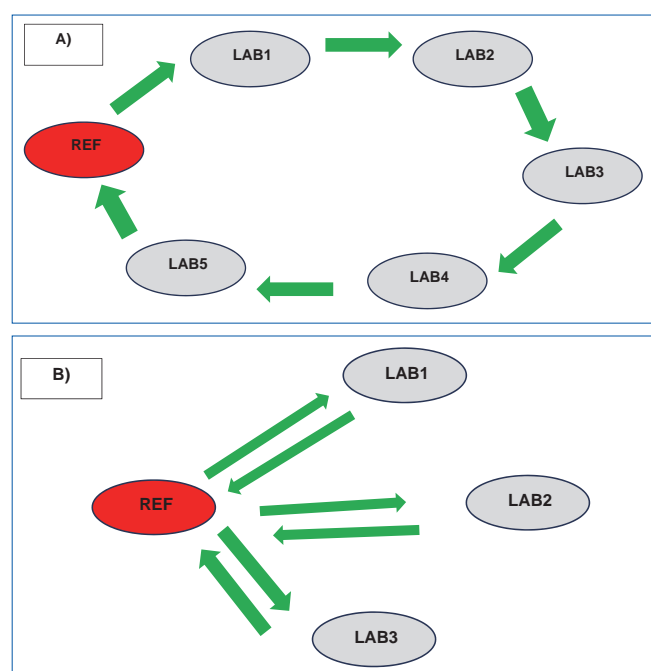
slovenské laboratoře, postupem času a četnými mezinárodními aktivitami se podařilo získat jako účastníky MPZ i zahraniční laboratoře, které nyní v případě ČMI tvoří více než 60 % všech účastníků. Účast zahraničních laboratoří je přínosem nejen pro ČMI, ale také pro české účastníky MPZ, protože mají možnost porovnání svých výsledků měření a stanovených nejistot na mnohem širší bázi než jen národní, kde se většinou jedná o jeden typ metrologické návaznosti. V mezinárodním měřítku se vlastně porovnávají různé typy metrologické návaznosti, což těmto porovnáním dává další přidanou hodnotu a mnohem větší význam. V množině účastníků MPZ organizovaných ČMI jsou laboratoře prakticky ze všech evropských zemí, jihovýchodní Asie, Indonésie, Severní a Jižní Ameriky a také severní Afriky. Nezanedbatelný je i přínos pro laboratoře poskytující referenční kalibrace (většinou primární laboratoře ČMI), řada účastníků má blízké CMC (calibration and measurement capability), takže celosvětové srovnání může poskytnout řadu cenných informací i pro systém managementu kvality ČMI.

Vzhledem ke snahám získat zahraniční laboratoře bylo logickým krokem získání akreditace, která by byla pro tyto laboratoře nezávislým potvrzením technické způsobilosti poskytovatele ČMI v souladu s mezinárodními dokumenty týkající se činnosti organizátorů poskytování zkoušení způsobilosti (MPZ). První akreditaci se podařilo získat v roce 2003, tedy v letošním roce tomu je 20 let, kdy tuto činnost provádíme pod akreditačním logem. V současné době jsme akreditováni podle normy ČSN EN ISO/IEC 17043:2010 „Posuzování shody – Všeobecné požadavky na zkoušení způsobilosti“ a postupně se připravujeme na posouzení podle nového vydání této normy (květen 2023). Získání akreditace a vstup do mezinárodní databáze programů zkoušení způsobilosti EPTIS byly významným krokem k získání zahraničních laboratoří jako účastníků našich MPZ. Dalším krokem k jejich udržení je vytvoření a udržení efektivního systému organizace a vyhodnocení těchto porovnání a široká nabídka programů zahrnujících spektrum měřidel pokrývajících rozsahy častých kalibrací a nabídka nových zajímavých programů v dosud ne realizovaných oborech měření.



Obr. 2: Země původu laboratoří zúčastněných v programech MPZ organizovaných ČMI – v rámci EU a okolích státech

Předmětem mezilaboratorního porovnání je srovnání naměřených hodnot laboratoře s hodnotami stanovenými laboratoří, která je v systému návaznosti na vyšším stupni nebo má své výsledky porovnání prověřeny mezinárodním porovnáním s laboratořemi minimálně na stejné úrovni nebo má své nejistoty CMC uznané a publikované v databázi CIPM MRA. Aby byly naměřené hodnoty porovnatelné, musí být získány na stejném měřicím zařízení ve stanovených měřicích bodech a pokud je to nezbytné, za předem stanovených podmínek či použitím určité metody. Obecně se však preferuje realizace měření podle rutinní metodiky příslušné laboratoře, pokud je to možné, a výsledky jsou porovnatelné, protože jediné tak se prověří správnost měření dané laboratoře a její stanovené nejistoty měření. Zvolené měřidlo pak koluje mezi účastníky podle předem stanoveného harmonogramu a všichni účastníci měří ve stanovených bodech a podle stanovených pravidel. Výsledky měření jednotlivých účastníků MPZ se pak porovnávají s tzv. vztažnou (referenční) hodnotou.



Obr. 3: Různé možnosti cirkulace měřidla mezi účastníky MPZ

- A) Smyčka měření, většinou jich bývá několik  
B) Hvězdicové schéma, pro nestabilní měřidla, ekonomicky velmi nákladný

Z hlediska stanovení vztažné hodnoty rozlišujeme dva základní druhy mezilaboratorních porovnání:

**1. MPZ s referenční hodnotou (tzv. pilotovaná MPZ),** kdy nad prověřovanou úrovní kalibračních a měřicích schopností (CMC) zúčastněných laboratoří existuje v příslušném systému metrologické návaznosti ještě minimálně jedna vyšší úroveň, obvykle představovaná nějakou laboratoří fundamentální metrologie (např. laboratoř nějakého národního metrologického institutu - NMI). Tato laboratoř tak poskytne pro dané porovnání referenční hodnotu s odpovídající nejistotou. Taková MPZ jsou typická pro akreditované kalibrační laboratoře. Vyhodnocení takových porovnání se provádí pomocí tzv. **normalizované chyby**  $E_n$ , která je daná vztahem:

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

Kde:

$X_{lab}$  je výsledek měření účastníka porovnání

$U_{lab}$  je rozšířená nejistota stanovená účastníkem porovnání

$X_{ref}$  je výsledek měření referenční laboratoře

$U_{ref}$  je rozšířená nejistota stanovená referenční laboratoří

V případě, že je splněna podmínka  $|E_n| \leq 1$ , je měření hodnoceno jako **vyhovující (A)**.

V případě, že  $|E_n| > 1$ , je měření hodnoceno jako **nevyhovující (N)**.

Pro taková porovnání platí obecné pravidlo, že nejistota referenční laboratoře by měla být menší než nejistota stanovená účastníkem porovnání. Toto pravidlo nemusí být dodrženo v případě, že nejistota účastníka porovnání je z důvodů nesprávného stanovení podhodnocená, což není úplně ojedinělý případ.

**2. MPZ bez referenční hodnoty (tzv. nepilotovaná MPZ),** kdy v dané oblasti nějaká vyšší úroveň metrologické návaznosti neexistuje. Typickou aplikací jsou tzv. klíčová a doplňková porovnání v rámci ujednání CIPM MRA, kdy se většinou porovnávají primární etalony různých NMI nebo kruhové zkoušky v oblasti zkoušení (zejména jde o metrologii v chemii), kdy je cílem MPZ právě stanovit pro danou oblast zkoušení referenční hodnotu. Tzv. vztažná hodnota, která se v těchto případech použije pro vyhodnocení úspěšnosti měření pak může být stanovena jako:

- vážený průměr naměřených hodnot (výsledků měření jednotlivých účastníků);
- medián z naměřených hodnot;
- vyhodnocení pomocí z-skóre.

Mezilaboratorní porovnání organizované ČMI slouží zejména pro akreditované kalibrační laboratoře a tato porovnání jsou výhradně pilotovaná. Podle předmětu porovnání je zvolena některá z laboratoří fundamentální metrologie ČMI, která funguje jako referenční laboratoř, poskytuje pro porovnání měřidlo a dodává referenční hodnoty, které slouží k vyhodnocení měření jednotlivých účastníků porovnání. Referenční měření se provádějí v pravidelných intervalech, vždy po určitém počtu účastníků se měřidlo vrací zpět do referenční laboratoře k dalšímu referenčnímu měření. Tímto způsobem se sleduje stabilita měřidla a je zajištěno dostatečné množství referenčních hodnot při delším trvání mezilaboratorního porovnání. Počet účastníků v jednotlivých smyčkách měření závisí především na stabilitě předmětného měřidla. Z hlediska ceny porovnání je třeba zvolit vhodný počet účastníků ve smyčce, protože velký počet referenčních měření zbytečně navyšuje celkovou cenu za účast v MPZ.

Stabilita měřidla v průběhu porovnání se vždy promítá do výsledné referenční nejistoty, takže žádný z účastníků porovnání není poškozený tím, že měřil v určitém období. V případě dobré stability je navýšení výsledné referenční hodnoty minimální, u méně stabilních měřidel je třeba rozdělit vyhodnocení po jednotlivých smyčkách měření a použít více referenčních hodnot.

Závěrečné hodnocení výkonnosti účastníka porovnání v případě většího počtu měřených hodnot se vždy stanoví v závislosti na měřené veličině, počtu měřených hodnot, popřípadě na dalších parametrech, většinou se však pohybuje kolem 90 % vyhovujících měření. Pokud jsou předmětem porovnání různá měřidla, která na sobě přímo nenavazují, provádí se vyhodnocení samostatně pro každé měřidlo.

Program MPZ organizovaných ČMI vychází z ročního plánu porovnávacích zkoušek, který je sestavovaný tak, aby zahrnoval všechny základní fyzikální veličiny a pokrýval měřidla, která jsou předmětem kalibrace většího počtu laboratoří. Tvůrci programu jsou i laboratoře, které posílají na Referát MPZ ČMI své představy a návrhy na možné programy porovnání, které by se jim hodily do jejich plánů v rámci systému managementu kvality. Hotový program MPZ je zveřejňován na stránkách ČMI vždy v průběhu prosince předcházejícího roku. Každý program obsahuje žádost ke stažení, která obsahuje všechny podstatné informace o plánovaném porovnání, popis měřidla, měřících bodů, CMC referenční laboratoře a ceny za porovnání. V případě zájmu o účast si laboratoř tuto žádost vyplní a potvrzenou ji zasílá emailem na Referát MPZ. Veškerá komunikace s Referátem MPZ pak probíhá prostřednictvím emailu, stejně jako odeslání výsledků měření. Poštou zasílá Referát MPZ pouze závěrečnou dokumentaci k porovnání, která obsahuje zprávu v tištěné formě, certifikát o účasti a dopis s kódem laboratoře. Tato dokumentace je rovněž zasílána elektronicky.



Obr. 4: Příklady anonymního osvědčení o účasti v MPZ a první strana závěrečné zprávy

	<b>ČESKÝ METROLOGICKÝ INSTITUT</b> Český metrologický institut, Referát MPZ		
<b>OSVĚDČENÍ</b>			
<b>O ÚČASTI V MEZILABORATORNÍM POROVNÁNÍ</b>			
číslo 0219-OV-CXX00-YY			
Předmět mezilaboratorního porovnání:			
<b>XXX</b>			
Provedeno:	měsíc 20YY – měsíc 20YY		
Označení porovnání:	<b>CC-XX00-YY</b>		
Držitel osvědčení:	«Firma»		
	«Ulice», «Město», «Stát»		
<b>Výsledek</b>			
Na základě Zprávy o vyhodnocení výsledků měření jednotlivých účastníků mezilaboratorního porovnání 0219-ZV-CXX00-YY účastník			
<b>v y h o v ě l</b>			
požadavkům pro toto mezilaboratorní porovnání podle ČSN EN ISO/IEC 17043.			
Datum vystavení:	xx.xx.20YY		
<b>RNDr. Simona Klenovská</b> vedoucí Referátu MPZ	<b>RNDr. Pavel Klenovský</b> odborný ředitel pro fundamentální metrologii		

Veškerá dokumentace a výsledky měření jsou ve zprávách uvedeny anonymně, tedy každému účastníkovi je přidělený kód, který zná jen organizátor MPZ a který je sdělován jen laboratoři samotné. Důvěrnost je základním požadavkem dokumentu, podle kterého jsou organizátoři takových porovnání akreditováni. V tomto bodě je zásadní rozdíl mezi porovnáními tohoto typu a porovnáními mezi národními metrologickými instituty (klíčová nebo regionální porovnání), která jsou zcela transparentní a v nichž každý institut vystupuje nikoliv pod nějakým kódem, ale pod svým jménem.

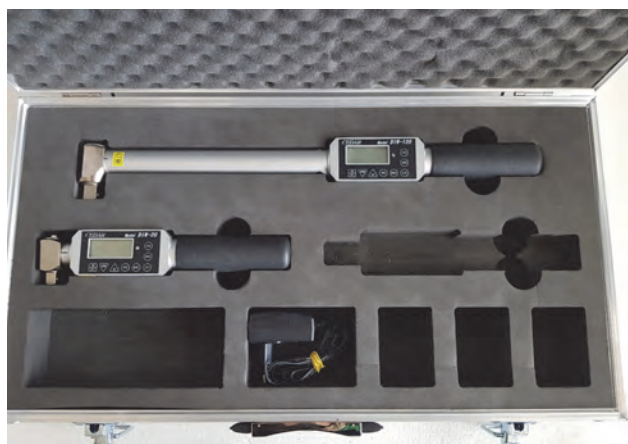
Kromě porovnání organizovaných na základě ročního plánu realizuje Referát MPZ i tzv. dvoustranná porovnání (DMPZ), ve kterých se porovnává daná laboratoř pouze s referenční laboratoří. Tato porovnání jsou určena pro případy, kdy laboratoř potřebuje z nějakých důvodů porovnání v krátké časové lhůtě nebo žádné porovnání vhodné pro danou laboratoř není daný rok v nabídce nebo se jedná o specifický obor měření, který nedělá mnoho laboratoří, a proto by ho nemělo smysl ani nabízet jako MPZ.

Oba typy porovnání jsou pokryty akreditací a jsou realizovány za stejných podmínek a stejným způsobem vyhodnocení. Výhodou dvoustranných porovnání je krátký časový interval od zahájení k závěrečné zprávě, u MPZ se někdy čeká na výsledné vyhodnocení skoro rok, což je ovšem doba, které se zatím nepodařilo mnoha poskytovatelům v minulosti

dosáhnout. MPZ s větším počtem laboratoří zase nabízí porovnání výsledků měření nejen s jednou referenční laboratoří, ale také s dalšími laboratořemi v dané oblasti měření a ve většině případů i s jiným typem návaznosti. Z hlediska množství poskytovaných informací je tento typ porovnání mnohem přínosnější.

Z hlediska organizace porovnání je největším problémem zajistit vhodné měřidlo. Vzhledem k tomu, že tato porovnání děláme již více než 25 let, je množina vhodných měřidel celkem vyčerpaná a musíme hledat nové zdroje vhodných měřidel. Cena měřidla se do ceny porovnání nepromítá, takže jejich zajištění je především na referenční laboratoři, na jejich investicích do nového vybavení. Cena některých měřidel, které poskytujeme pro účely porovnání je i přes milion korun, z čehož vyplývá nutnost citlivého zacházení ze strany účastníků porovnání. Tady je potřeba zdůraznit, že většina laboratoří s tím nemá problém, ale některé laboratoře zacházejí s měřidly velmi nevybíravým způsobem a některá měřidla, naštěstí nepříliš nákladná, byla v důsledku zacházení v některých laboratořích zcela zničena (termočlánky, tonometr) nebo utrpěla takové poškození, že pro jiné porovnání a případná přesná měření již nejsou dále použitelná. Zacházení účastníků s měřidly v porovnání se obtížně kvantifikuje, ale je jasným obrazem toho, jak se někde zachází s měřidly zákazníků.

Dalším problematickým prvkem porovnání je doprava měřidel k účastníkům nebo mezi jednotlivými účastníky. I když nabídka přepravních firem je poměrně široká, jejich zacházení s balíky už tak citlivé není. Mnoho měřidel je velmi citlivých na otřesy a či nevhodnou manipulaci, což zejména při mezinárodních přepravách není moc dodržováno. Proto má klíčový význam dobré zabalení měřidla do několika ochranných vrstev, jeho stabilizace a dobré vyvážení uvnitř přepravních obalů. U MPZ, kde si měřidla mezi sebou musejí posílat samotní účastníci, je toto velmi kritické, protože některé laboratoře na důkladné zabalení zrovna moc nedbají. Poměrně často se nám vracejí měřidla jen velmi ledabyle zabalená bez dobrého utěsnění v přepravním boxu a bez zohlednění těžiště, což hraje významnou roli při manipulaci s balíky v průběhu dopravy.



Obr. 5: Příklad stabilního uložení měřidel v přepravním boxu

Vzhledem k tomu, že mezilaboratorní porovnání nabývá stále na větším významu jako nástroj zajišťování správného, přesného a spolehlivého měření, je snahou Referátu MPZ tuto činnost dále rozvíjet a učinit ji pro laboratoře dobře dosažitelnou, jednoduše realizovatelnou bez zbytečné byrokracie, dostatečně efektivní a poskytující laboratořím maximální množství informací k provedení analýzy svých měření a k přijetí vhodných kroků k jejich zlepšování. Závěrečné zprávy slouží nejen samotným laboratořím, ale také odborným posuzovatelům akreditačních orgánů, kteří si je od laboratoře vyžádají. V dalším rozvoji této služby se budeme zaměřovat na hledání nových možností měření, vhodných měřidel a efektivního poskytování nabídky porovnání.

Na závěr jen stručně shrnutí výhod, které vyplývají z účasti laboratoře v programech MPZ:

- prověření používané metodiky měření;
- ověření správnosti měření;
- prověření návaznosti použitého etalonu;
- prověření správnosti stanovených nejistot měření a CMC;
- srovnání s dalšími laboratořemi v dané oblasti kalibrací;
- i když jsou výsledky porovnání anonymní, přesto poskytují reálný obraz o měření a stanovených nejistotách, popř. další informace, které jsou předmětem příslušného porovnání;
- ověření správnosti používaného softwaru;
- a především: zachování akreditace.

V případě, že laboratoř neuspěje v nějakém mezilaboratorním porovnání, je to varovný signál, který by měl směřovat k důkladné analýze výsledků měření v porovnání s referenční laboratoří, popř. dalšími laboratořemi zúčastněnými v příslušném programu. MPZ poskytuje ve zprávě poměrně široký soubor grafických porovnání výsledků měření, odchylek od referenčních hodnot, stanovených nejistot a dalších prvků, ze kterých je možné vyhodnotit příčinu neúspěšných měření. Po zjištění této příčiny a jejím odstranění je vhodné si dalším porovnáním potvrdit, že byl učiněn krok správným směrem. V každém případě je třeba i tuto skutečnost chápat jako příležitost ke zlepšení a možnost posunu na vyšší úroveň v dané oblasti měření. Úspěšné potvrzení výsledků měření a stanovených nejistot však přináší v kratším okamžiku větší důvod k radosti.

Lepší představu o vyhodnocení a vzájemném porovnání výsledků měření jednotlivých účastníků by mohl poskytnout následující komentovaný výtah z jednoho z ukončených velkých porovnání. Občas se setkáváme s názorem, že naše zprávy obsahují zbytečně mnoho grafů. Pokud se však chceme dostat na podstatu, je nezbytné se podívat na měření z různých pohledů, protože jedině tak si uděláme celkový obrázek o schopnosti a kvalitě měření dané laboratoře.

Uvedené příklady jsou z MPZ 400-22 „Indukční průtokoměr DN 65“.

Tohoto porovnání se zúčastnilo téměř 20 laboratoří z osmi různých států:





Obr. 6: Indukční průtokoměr Siemens DN 65, typ SITRANS FM MAG 1100

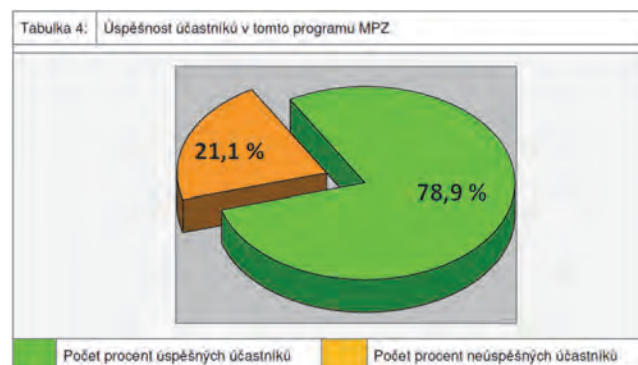
Měřidlo použité jako zkušební položka byl indukční průtokoměr Siemens DN 65, typ SITRANS FM MAG 1100, který je v majetku ČMI již nějakou dobu a jehož historie a metrologické vlastnosti jsou dobře známé. Měřidlo již v minulosti prokázalo velmi dobrou stabilitu, což je zásadní prvek pro volbu měřidla pro porovnání, které s takovým počtem účastníků a jejich geografickým rozložením trvá téměř rok. Měřidlo bylo doplněno ukliďovacími úseky, aby tak podmínky měření u všech účastníků byly co možná nejlépe porovnatelné.



Obr. 7: Zapojení indukčního průtokoměru Siemens do měřicí stanice v referenční laboratoři

VÝSLEDKY MĚŘENÍ				
ID	Jmenovitý průtok (m <sup>3</sup> /h)	Chyba měření (%)	Rozšířená nejistota (%)	CMC (%)
A1	5			
A2	10			
A3	15			
A4	20			
A5	30			
A6	40			
A7	60			
A8	80			
A9	100			
A10	120			
TEPLOTA VODY				°C
POUŽITÁ METODA				
M1	HMOTNOSTNÍ S LETMÝM STARTEM			
M2	HMOTNOSTNÍ S PEVNÝM STARTEM			
M3	OBJEMOVÁ S LETMÝM STARTEM			
M4	OBJEMOVÁ S PEVNÝM STARTEM			

Obr. 8: Tabulka pro vyplnění výsledků měření a použité metody

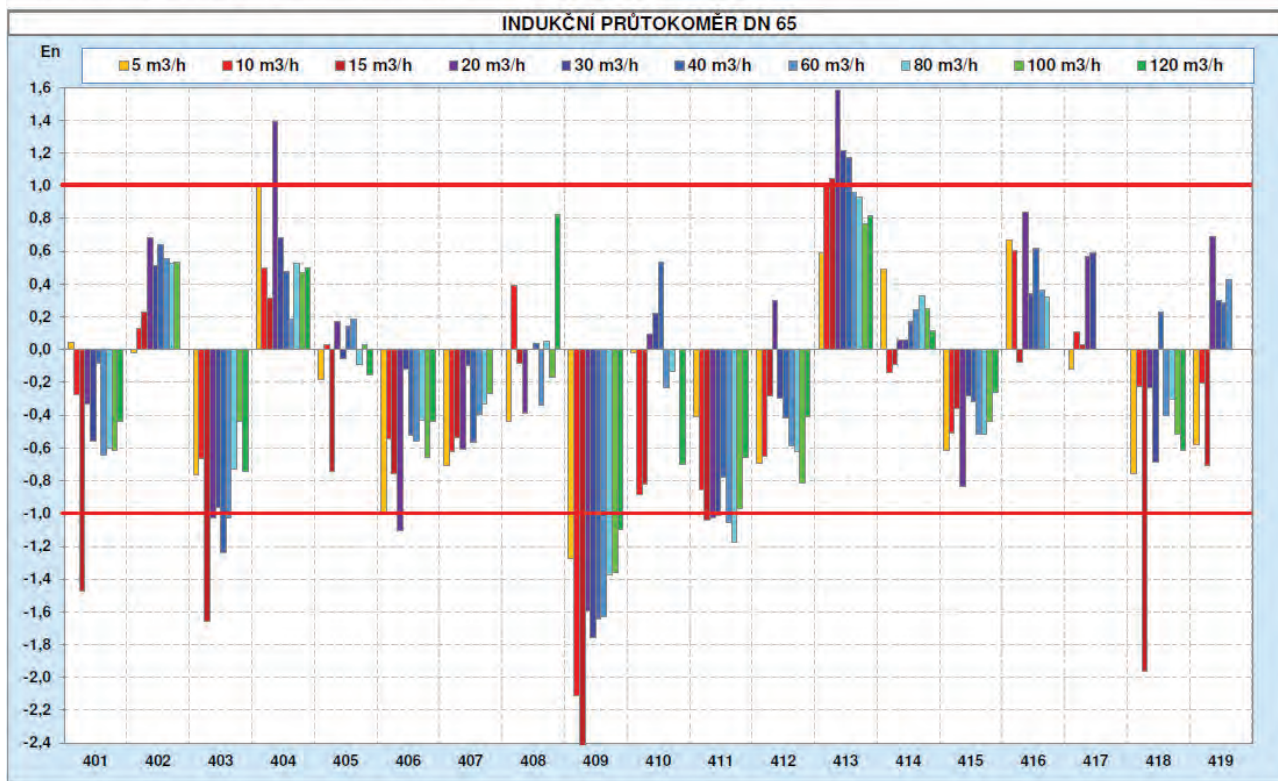


Obr. 9: Celková úspěšnost účastníků v tomto programu MPZ

Z grafů na obr. 11 lze vyčíst, že oba účastníci porovnání mají dobře stanovené nejistoty vůči referenční nejistotě, ale zatímco účastník 414 má v celém rozsahu minimální odchylky od referenční hodnoty, tedy měří ve velmi dobré shodě s referenční laboratoří, účastník 413 vykazuje jednoznačně systematický posun svých měření. I když by celkové hodnocení pomocí normalizované chyby  $E_n$  bylo vyhovující, tento účastník by měl provést podrobnou analýzu svých měření a zjistit příčinu tohoto systematického posunu.

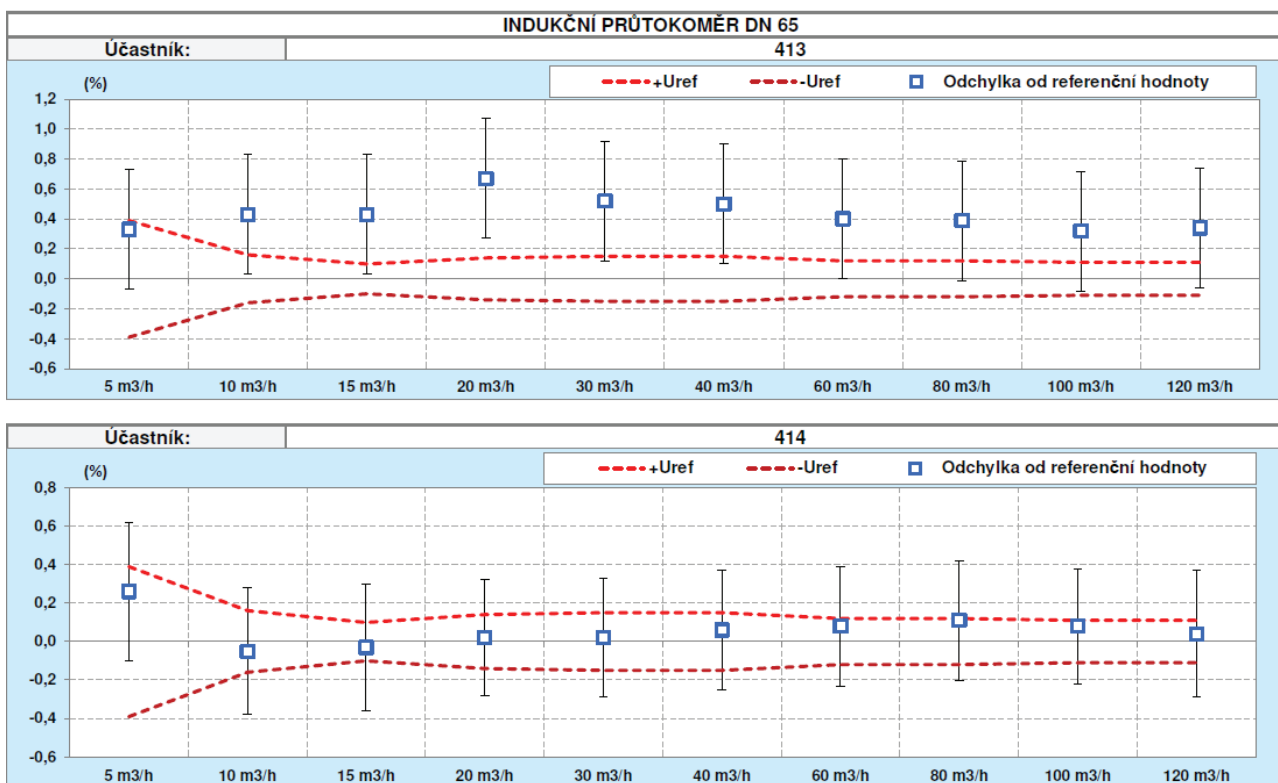
Obr. 12 znázorňuje všechny hodnoty naměřených chyb pro dva jmenovité průtoky, chybové úsečky představují stanovenou nejistotu. Červená tečkovaná přímka udává medián ze všech naměřených chyb, tedy všech referenčních měření a všech účastníků porovnání. Medián není ovlivněn odlehklými hodnotami a představuje asi nejlepší vztahovou hodnotu pokrývající celý průběh porovnání. Z těchto grafů

Příloha 3.1 - Hodnoty En pro jednotlivé účastníky



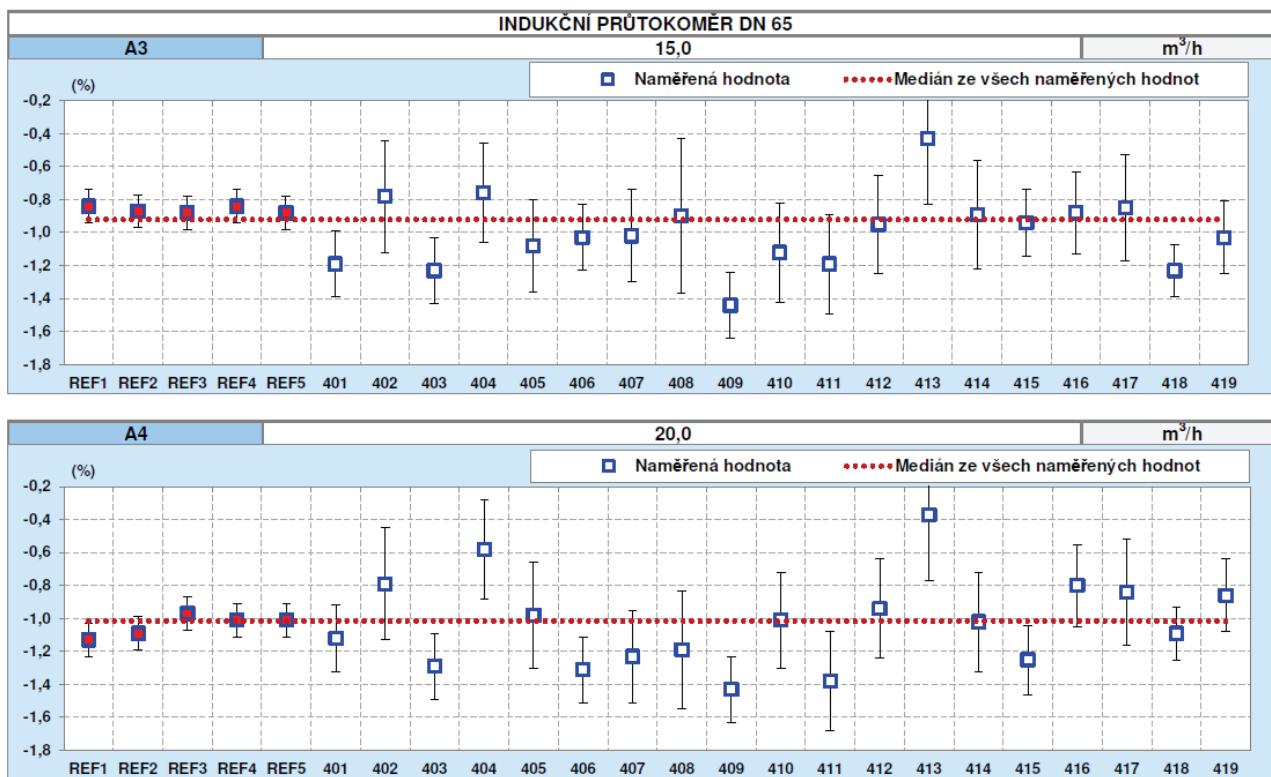
Obr. 10: Graf znázorňuje hodnoty En pro jednotlivé účastníky označené kódem v celém rozsahu jejich měření (vyhovující měření leží v intervalu od -1 do +1)

Příloha 3.2 - Odchylky od referenčních hodnot a stanovené nejistoty v pásmu výsledných referenčních nejistot



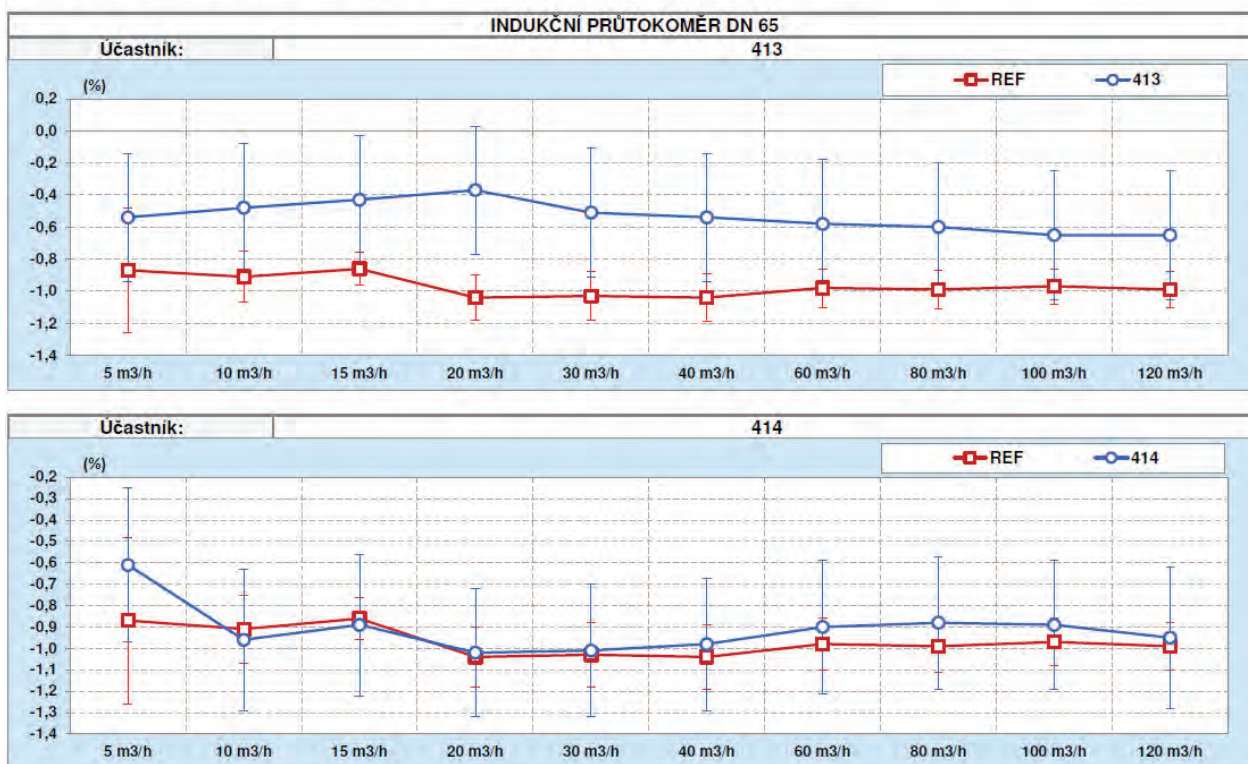
Obr. 11: Graf znázorňuje odchylky od referenční hodnoty a stanovené nejistoty dvou účastníků s kódovým označením 413 a 414, červené čáry označují pásmo referenční nejistoty

Příloha 3.3 - Naměřené hodnoty a nejistoty stanovené jednotlivými účastníky a referenční laboratoří



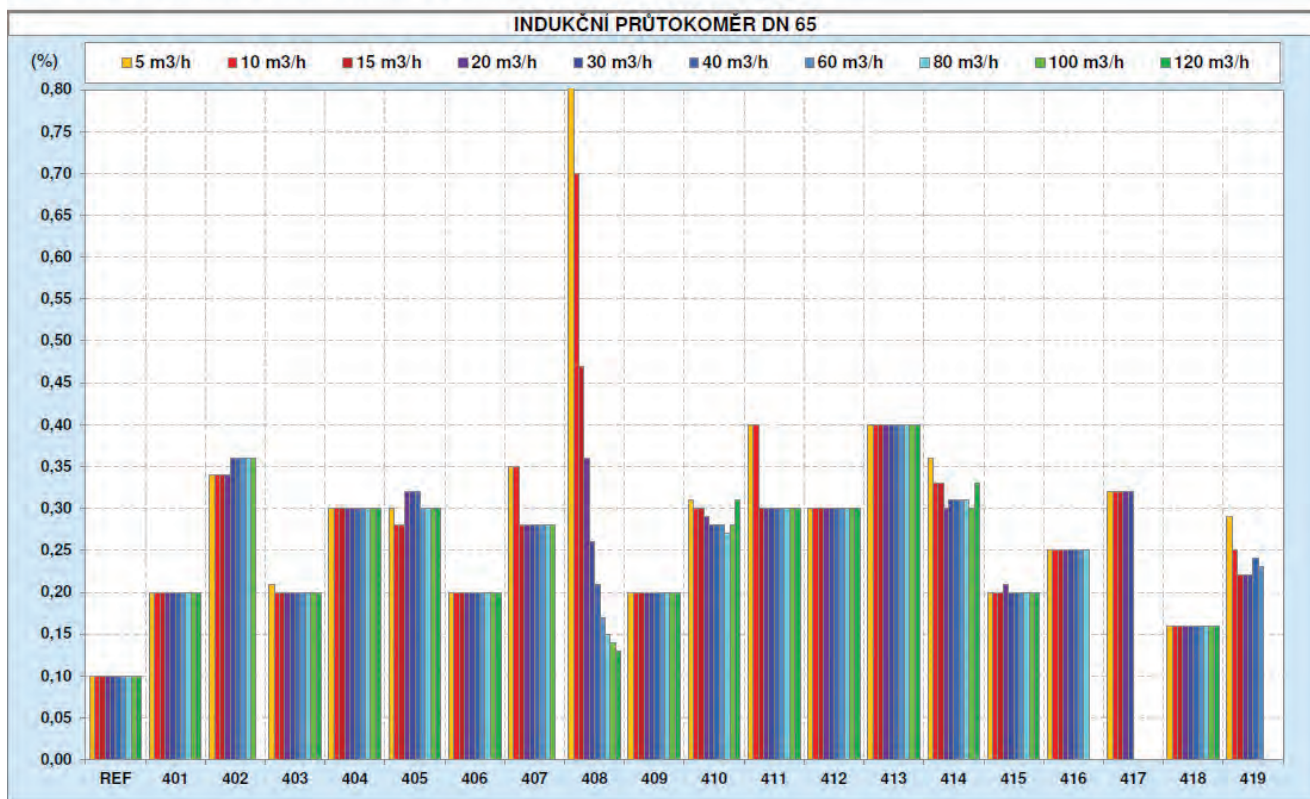
Obr. 12: Skutečně naměřené chyby se stanovenými nejistotami uvedené referenční laboratoří, REF1 až REF5, a všemi účastníky porovnání pro jmenovité průtoky 15 m<sup>3</sup>/h a 20 m<sup>3</sup>/h

Příloha 3.4 - Porovnání hodnot naměřených účastníkem s výslednými referenčními hodnotami



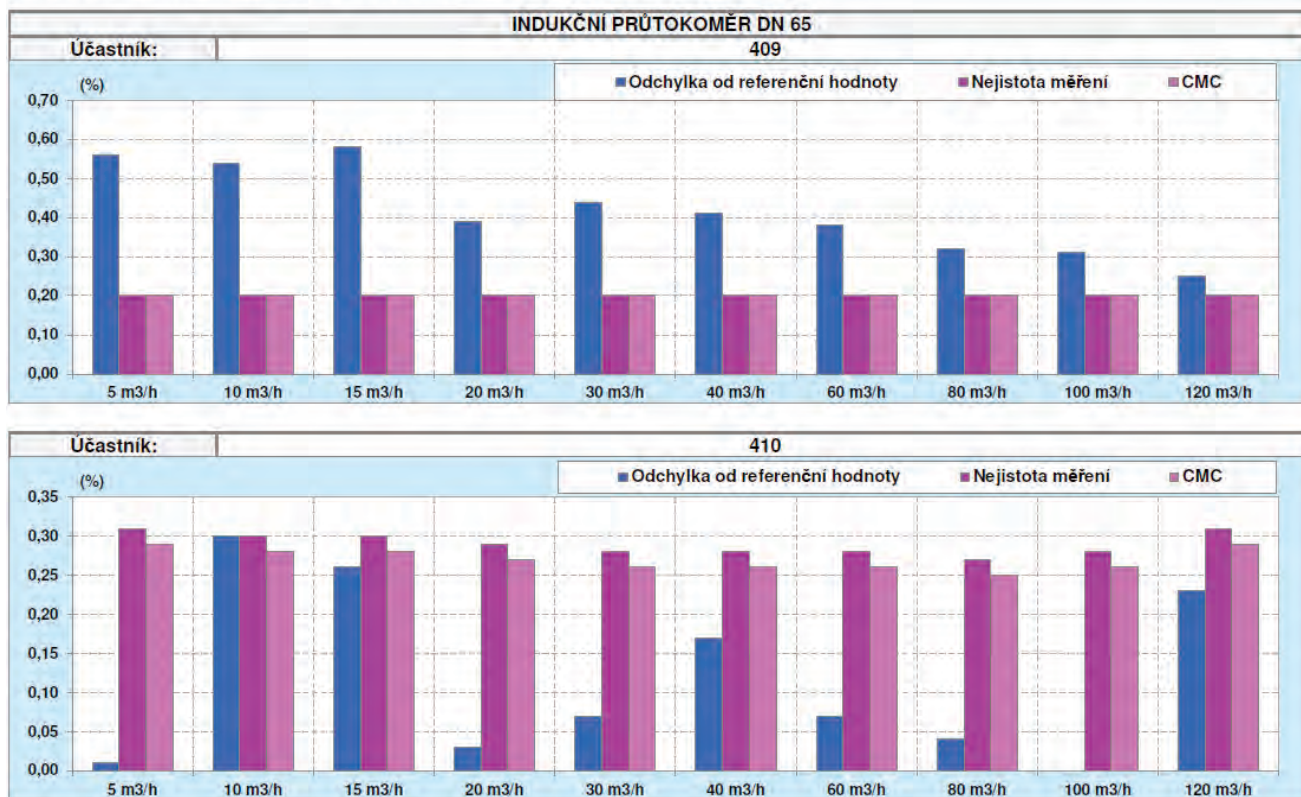
Obr. 13: Porovnání naměřených chyb účastníka 413 a 414 s referenčními hodnotami

Příloha 3.5 - Porovnání nejistot stanovených jednotlivými účastníky a referenční laboratoří



Obr. 14: Vzájemné porovnání nejistot stanovených v celém rozsahu měření pro všechny účastníky porovnání včetně referenční laboratoře

Příloha 3.6 - Porovnání odchylek od referenčních hodnot, stanovených nejistot a CMC



Obr. 15: Porovnání odchylek od referenčních hodnot, stanovených nejistot a CMC daného účastníka

je vidět velmi dobrá stabilita referenčních měření REF1 až REF5, které jen mírně oscilují kolem tohoto mediánu. Každý z účastníků má tak porovnání nejen s referenčním měřením, ale rovněž s ostatními účastníky programu MPZ. Porovnat si může i své stanovené nejistoty. Jak již bylo uvedeno v úvodních odstavcích tohoto článku, nejistota referenční hodnoty by měla být menší než nejistoty účastníků MPZ, aby tak jasně odrážela výsledky měření vyšší přesnosti.

Grafy na obr. 13 zase představují porovnání naměřených chyb účastníka 413 a 414 samostatně s referenčními hodnotami. Tento typ grafů jasně ukazuje shodu měření účastníka s výsledným referenčním měřením. Tam, kde se křivky překrývají, je shoda velmi dobrá, jejich odlehlost značí míru problematického měření. Z grafů je vidět velmi dobrá shoda účastníka 414 a jednoznačný posun měření účastníka 413 vůči referenčnímu měření.

Stanovení nejistoty měření již většina kalibračních laboratoří zvládá velmi dobře nebo alespoň pomocí nějakého softwaru, ale vzájemné porovnání nejistoty v takovém spektru laboratoří je vždy velmi užitečné a může sloužit k prověření správnosti jejich stanovení.

Většina kalibračních laboratoří má stanoveny své nejlepší nejistoty měření neboli tzv. kalibrační a měřicí schopnosti (CMC) a cílem porovnání je rovněž jejich prověření. Grafy na obr. 15 znázorňují pro jednotlivé jmenovité průtoky porovnání odchylky od referenční hodnoty, stanovené nejistoty a CMC. Pokud to přesnost zkoušeného měřidla umožňuje, měl by účastník porovnání stanovit své nejistoty na úrovni svých CMC (účastník 409) nebo jen mírně nad jejich úroveň (účastník 410). Některé laboratoře však významně nadhodnocují své nejistoty v porovnání se svým deklarovanými CMC, čímž ale jasně prokazují, že takových CMC nejsou schopni vůbec dosáhnout a že jejich CMC slouží jen pro reklamní účely. Programy MPZ se snaží na tyto problémy upozornit, ale příslušné kroky a potvrzení CMC musí požadovat primárně akreditační orgány, které CMC laboratoře schvalují. Odchylka

od referenční hodnoty je pak v grafu znázorněna proto, aby si daný účastník mohl prověřit, zda jimi stanovené nejistoty tyto odchylky od referenční hodnoty pokrývají. U účastníka 410 jednoznačně pokrývají, nejistoty účastníka 409 však odchylky od referenční nejistoty v žádném případě nepokryjí. Účastník 409 by tak kromě analýzy svých měření měl provést i analýzu rozpočtu svých nejistot měření.

Součástí každé zprávy je pak přehled o všech provedených referenčních měřeních s uvedením naměřených hodnot a stanovených nejistot, tedy hodnot, ze kterých byly stanoveny výsledné referenční hodnoty a které jsou zakresleny v jednotlivých grafech. Pomocí této tabulky si každý účastník může vyhodnotit svá měření, která byla časově nejbližší příslušnému referenčnímu měření v případě, že stabilita měřidla nebyla úplně ideální, což u některých typů měření či měřidel může nastat. Z takového porovnání může získat lepší přehled o svých měřeních než z porovnání s výslednou referenční hodnotou, která představuje chování měřidla v dlouhodobém horizontu.

Zpráva o MPZ představuje ucelený komplex informací o daném měření, jeho přesnosti, stabilitě a stanovených nejistotách. Již dávno to není jen na úrovni VYHOVĚL – NEVYHOVĚL, ale soubor sesbíraných informací může posloužit jako startovací můstek k dalšímu zlepšování procesu měření a hledání cest k významnějšímu uplatnění v nabídkách kalibrací. Odborní posuzovatelé akreditačního orgánu s těmi zprávami umějí velmi dobře pracovat a obsažené informace správně použít v posouzení technické způsobilosti příslušné laboratoře. Česká republika je průmyslovou zemí s vysokým počtem akreditovaných kalibračních laboratoří, které se v případě nabídky kvalitních a přesných měření mohou velmi dobře uplatit jen v případě své konkurenceschopnosti. A k tomu jim významnou měrou přispívá i zavedený systém organizace mezilaboratorních porovnání organizovaných ČMI. Protože jak řekl W. Edwards Deming, kterému se také říká otec kvality: „V Boha věřime, všichni ostatní musí přinést data.“

Datum referenčního měření											
	REF1	REF2	REF3	REF4	REF5						
	26. 04. 2022	30. 06. 2022	05. 10. 2022	15. 12. 2022	03. 02. 2023						
VÝSLEDKY MĚŘENÍ											
ID	JP	CH	U	CH	U	CH	U	CH	U	CH	U
	(m <sup>3</sup> /h)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
A1	25	-1,00	0,10	-1,18	0,11	-0,87	0,10	-0,74	0,13	-0,58	0,10
A2	50	-0,78	0,10	-0,96	0,11	-0,90	0,10	-0,98	0,11	-0,93	0,10
A3	500	-0,84	0,10	-0,87	0,10	-0,88	0,10	-0,84	0,10	-0,88	0,10
A4	1000	-1,13	0,10	-1,09	0,10	-0,97	0,10	-1,01	0,10	-1,01	0,10
A5	2000	-0,99	0,10	-0,93	0,10	-1,00	0,10	-1,11	0,10	-1,12	0,10
A6	2000	-0,95	0,10	-1,00	0,10	-1,04	0,10	-1,15	0,10	-1,06	0,10
A7	2000	-0,92	0,10	-0,96	0,10	-0,97	0,10	-1,04	0,10	-1,03	0,10
A8	2000	-0,94	0,10	-0,99	0,10	-1,00	0,10	-0,94	0,10	-0,99	0,10
A9	2000	-0,92	0,10	-0,95	0,10	-0,99	0,10	-0,99	0,10	-1,01	0,10
A10	2000	-0,94	0,10	-0,98	0,10	-1,01	0,10	-1,00	0,10	-1,01	0,10
Legenda:											
JP		Jmenovitý průtok				CH		Chyba měření			
U		Rozšířená nejistota									

Obr. 16: Referenční měření provedená v rámci tohoto MPZ ve stanovených datech na počátku porovnání, mezi jednotlivými smyčkami měření a na konci porovnání

# OVĚŘOVÁNÍ KALIBRÁTORŮ ČÁSTEČNÝCH VÝBOJŮ PRO HODNOTY NÁBOJE MENŠÍ NEŽ 10 pC

doc. Ing. Radek Procházka, Ph.D.

Ing. Jan Hlaváček, Ph.D.

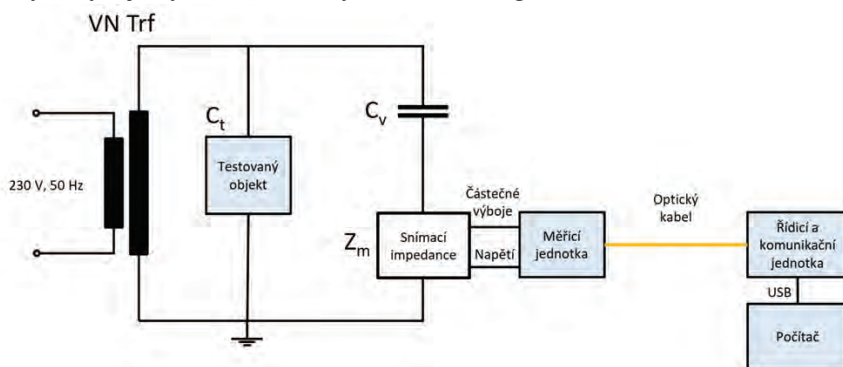
doc. Ing. Karel Draxler, CSc.

Fakulta elektrotechnická, České vysoké učení technické v Praze

## 1. Měření částečných výbojů pro diagnostiku izolačních systémů elektrických strojů

V technice vysokých napětí a vysokonapěťové diagnostice se rozlišuje „úplný“ a „neúplný“ přeskok napěťově namáhané izolace. Při „úplném“ přeskoku jsou obě elektrody spojeny nízkoodporovým výbojem a celá izolace je tímto výbojem překlenuta (proražena). Při „neúplném“ přeskoku je výbojem překlenuta (proražena) pouze část izolace, tj. nastane pouze „částečný přeskok“. Zbytek zdravé izolace má ještě dostatečnou elektrickou pevnost a napěťové namáhání vydrží. V případě, že se jedná o „částečný přeskok“ v plynném dielektriku, hovoříme o „částečném výboji“. V izolačních systémech elektrických strojů a zařízení (točivých strojů, transformátorů, kabelů, kondenzátorů apod.) mohou být plynem vyplněné malé dutiny v pevné nebo kapalné izolaci, případně se částečné výboje mohou objevit na rozhraní pevné izolace a vzduchu. Při zvýšení napětí nad hodnotu počátečního napětí částečných výbojů se v dutinách objeví výboje, které mívají charakter lavinových nebo drobných jiskrových výbojů. Tato výbojová aktivita má za následek chemické a fyzikální změny ve vlastnostech izolantu, které zkracují jeho životnost a zároveň snižují jeho elektrickou pevnost. Vhodným měřením částečných výbojů lze stanovit jejich úroveň, a předejít tak celkové destrukci zařízení.

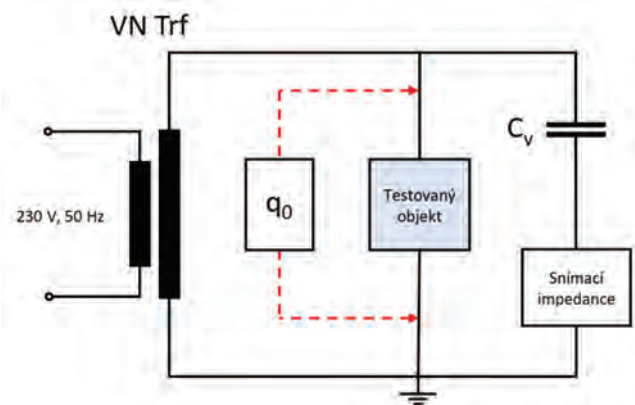
Existuje celá řada metod pro měření částečných výbojů. Obecně je můžeme rozdělit do dvou skupin na neelektrické a elektrické metody. V oblasti neelektrických metod se využívá zejména optických a akustických senzorů, a to zejména k lokalizaci výbojové činnosti (pro vnější částečné výboje). Další používanou neelektrickou metodou pro detekci přítomnosti částečných výbojů je chemická analýza olejů, tzv. plynová chromatografie. Nejčastěji se však pro detekci částečných výbojů využívá elektrických metod, a to galvanické



Obr. 1: Blokové schéma galvanické metody měření částečných výbojů se snímací impedancí umístěnou ve větvi s vazebním kondenzátorem

metody, případně lze využít měření elektromagnetických vln nebo induktivně vázaných sond.

Na obr. 1 je uveden příklad obvodu pro galvanickou metodu, kdy je snímací impedance  $Z_m$  zapojena do větve vazebního kondenzátoru  $C_v$ . Proudové impulzy způsobené částečnými výboji se z měřeného objektu o kapacitě  $C_t$  dostávají do snímací impedance  $Z_m$  přes vazební kondenzátor  $C_v$ . Výhodou tohoto zapojení je možnost měření uzemněného testovaného objektu. Uplatní se tedy zejména tam, kde nelze odzemnit vývod testovaného objektu, ale také v případě velkých kapacit měřených objektů. Existují i další modifikace tohoto obvodu, které se liší v zapojení snímací impedance. Ta obvykle poskytuje jeden výstup s průběhem částečných impulzů, kde je odfiltrována síťová frekvence 50 Hz, a druhý výstup z dolní propusti, kde je k dispozici pouze signál průběhu napětí o síťové frekvenci. Měřicí jednotka obsahuje A/D převodníky, které oba signály zdigitalizují a ve formě číselnicového toku dat jsou přenášeny dále do řídicí a komunikační jednotky prostřednictvím optického kabelu.



Obr. 2: Schéma kalibračního obvodu

V závislosti na kapacitách měřicího obvodu (včetně parazitních kapacit) dochází při cestě od měřicích svorek na objektu ke vstupu do měřidla částečných výbojů ke změně tvaru impulzů částečných výbojů a kvůli ztrátám i ke

zmenšení přeneseného náboje. Celý měřicí obvod je proto nutné kalibrovat definovanou hodnotou náboje generovanou kalibrátorem  $q_0$  podle obr. 2 a měření na testovaném objektu následně korigovat na kalibrační hodnoty. Kalibrace měřicího obvodu se většinou provádí před každým měřením částečných výbojů, a to před aplikací vysokého napětí na testovaný objekt. Výjimkou jsou rutinní testy, kdy se kapacita objektů nemění o více než  $\pm 10\%$  (kalibrace se provádí pouze před zahájením prvního testu).

## 2. Metody pro ověření kalibrátorů

Charakteristiky kalibrátorů se mohou během doby používání měnit a jejich parametry (náboj, doba nárůstu a opakovací frekvence impulzů) by se měly periodicky kontrolovat v pravidelných časových intervalech a po opravách. Při provozních zkouškách kalibrátorů je doporučeno, aby byly provedeno ověření následujících parametrů:

- stanovení skutečného náboje kalibrátoru pro všechny možné rozsahy, které kalibrátor umožňuje (nejistota stanoveného náboje pak musí být v rozsahu  $\pm 5\%$  nebo  $1\text{ pC}$  podle toho, která z těchto hodnot je větší; při použití kalibrátoru pro kalibraci systému měření částečných výbojů musí být použita tato skutečná hodnota náboje)
- stanovení doby nárůstu  $t_r$  skokového napětí kalibrátoru  $U_0$  s nejistotou  $\pm 10\%$
- stanovení opakovacího kmitočtu impulzů  $N$  s nejistotou  $\pm 1\%$  pomocí vhodného čítače impulzů, přičemž tento požadavek je vyžadován pouze pro kalibrátory určené pro kalibraci záznamu četnosti impulzů  $n$ .

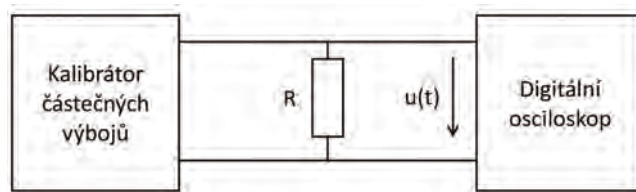
Současné komerčně dostupné kalibrátory částečných výbojů umožňují nastavení nejnižší hodnoty náboje až  $0,1\text{ pC}$ . Metrologické instituty většinou poskytují kalibrační služby pro zdánlivý náboj od hodnoty jednotek  $\text{pC}$ , s nejmenší relativní nejistotou při této úrovni náboje přibližně  $3\%$ . Nejistoty hodnot náboje pod  $1\text{ pC}$  jsou obvykle o jeden řád vyšší než nejistoty, které se uvádějí pro úroveň náboje nad  $1\text{ pC}$  [2]. Pro kontrolu kalibrátorů jsou v normě ČSN EN 60270 [1] uvedeny následující dva postupy.

### 2.1 Referenční metoda

Jedná se o metodu, kdy se ověřovaný kalibrátor porovnává s referenčním kalibrátorem. Náboj generovaný kalibrátorem musí být srovnatelný s nábojem generovaným referenčním kalibrátorem. Hodnota náboje musí být v obou případech měřena stejným měřicím systémem. Referenční kalibrátor musí mít návaznost na národní normy a výsledek zkoušky musí být určen jako průměr z alespoň 10 měření. Použitým měřicím systémem může být měřicí systém částečných výbojů, který je v souladu s touto normou, nebo digitální osciloskop s možností provedení integrace nebo zařízení s elektronickou integrací.

### 2.2 Metoda numerické integrace (alternativní metoda)

Měření náboje kalibrátoru částečných výbojů může být také provedeno pomocí numerické integrace. Na **obr. 3** je uvedeno základní schéma této metody. Výstupní svorky testovaného kalibrátoru jsou zatíženy rezistorem  $R$ . Časový průběh výstupního napětí  $u(t)$  je zaznamenán pomocí kalibrovaného digitálního osciloskopu se šířkou pásma ne menší než  $50\text{ MHz}$ . Hodnota odporu  $R$  má být v rozmezí mezi  $50\ \Omega$  a  $200\ \Omega$ . Propojení mezi kalibrátorem, rezistorem  $R$  a osciloskopem má být co nejkratší. Zkušební obvod, obsahující snímací rezistor  $R$ , musí být takový, aby oscilace v zaznamenaném průběhu klesly během doby použité pro integraci na méně než  $2\%$  průměrné úrovně skokového napětí. Výsledek zkoušky musí být určen jako průměr alespoň z 10 měření.



Obř. 3: Blokové schéma zapojení při realizaci metody numerické integrace

Generovaný náboj je možné stanovit na základě vztahu:

$$q = \int i(t) dt = \frac{1}{R} \int u(t) dt \quad (1)$$

kde  $i(t)$  je časový průběh proudového impulsu vygenerovaného testovaným kalibrátorem a  $u(t)$  je průběh napěťového impulsu měřeného na rezistoru  $R$  digitálním osciloskopem.

Metoda numerické integrace je velmi často používána pro měření hodnoty náboje. Nejistota měření je však vyšší než nejistota získaná referenční metodou. Hlavní složky nejistoty této metody jsou následující:

- nejistota hodnoty bočníkového odporu
- nestabilita zesílení osciloskopu
- nejistota numerické integrace zašuměných vzorkovacích dat
- vysoká směrodatná odchylka výsledků
- metodická chyba odpovídající principu zpracování vzorkovaného signálu.

Nejistoty, které souvisí s hodnotou odporu a jeho teplotní závislostí, jsou ve srovnání s nejistotami digitálního osciloskopu zanedbatelné. Kalibrátor však může být závislý na zátěži a podle normy musí mít zatěžovací odpor co nejmenší indukčnost, aby se zabránilo nadměrným oscilacím ve tvaru zachycené vlny.

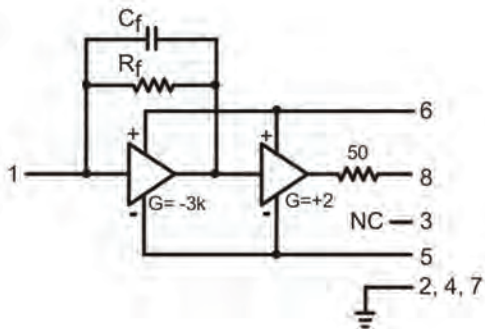
Chyby zesílení rozsahů osciloskopu mohou činit zlomek procent nebo dokonce několik procent, a jejich korekce může být časově náročná. Neideální odezvy rozsahů osciloskopu na jednotkový skok mají rovněž vliv na hodnotu integrálu. Chyba neideální odezvy na jednotkový skok může činit zlomek procent v závislosti na tvaru vlny zaznamenaného napětí. Tuto chybu lze vhodnou metodou korigovat, např. použitím metody dekonvoluce uvedené v literatuře [3].

Úroveň šumu měření, šířka pásma a použitá vzorkovací frekvence digitizéru mají také významný vliv na zaznamenaný tvar impulsu [4] a k odchylkám v integrálu zachyceného tvaru vlny. Při měření malých hodnot náboje jsou měřené signály velmi nízké úrovně, a dochází tak k výraznému zvýšení nejistot spojených s měřením. Jak je uvedeno v [5], měření náboje o hodnotě  $0,1\text{ pC}$  může vést k impulznímu napětí s amplitudou přibližně  $1\text{ mV}$  při použití nejvyšší schválené hodnoty odporu  $200\ \Omega$ . Ověřování malých úrovní náboje je tak velmi obtížné, přestože moderní kalibrátory částečných výbojů mají tyto malé hodnoty nábojů k dispozici.

## 3. Využití nábojově citlivých zesilovačů

S ohledem na výše uvedená omezení numerické integrace byla pro náboje menší než  $10\text{ pC}$  autory publikace [5] navržena nová metoda s analogovým elektronickým integrovačem. Jedná se o integrační zařízení, které lze využít

pro převod hodnoty náboje na napětí, a zároveň se minimálně uplatní vnější vlivy, jako např. teplota a rušení. Obecně se použitím nábojově citlivých zesilovačů výrazně zlepšuje poměr signálu k šumu při detekci částečných výbojů. Mezi hlavní zdroje nejistoty patří nejistota velikosti integračního kondenzátoru, zesílení analogové části osciloskopu a nejistota odpovídající rušivým signálům. Využitím této metody lze dosáhnout rozšířené celkové nejistoty menší než 1 % v rozsahu od 20 pC do 0,1 pC a menší než 3 % při 0,01 pC ( $k = 2$ ). Zjednodušené schéma náhradního obvodu nábojově citlivého zesilovače je uvedeno na **obr. 4**.



**Obr. 4:** Zjednodušený náhradní obvod nábojově citlivého zesilovače [6]

Výstupní napětí zesilovače klesá, protože zpětnovazební kondenzátor  $C_f$  se vybíjí přes zpětnovazební odpor  $R_f$ . Podle požadavku normy [1] na zdroj skokového napětí uvnitř kalibrátoru, resp. průběh integrálu proudového impulsu generovaného tímto kalibrátorem se hodnota výstupního napětí  $u(t)$  nesmí změnit o více než  $\pm 3 \%$  jeho střední hodnoty v časovém intervalu  $(0,2 - 5) \mu\text{s}$ . Tomu odpovídá podmínka, že od maxima výstupního napětí  $u(t) = U_0$  do času  $t = 5 \mu\text{s}$  nesmí poklesnout výstupní napětí o více než 6 %.

$$u(5\mu\text{s}) \geq 0,94 \cdot U_0 \quad (2)$$

#### 4. Realizace ověřovacího zařízení s nábojově citlivým zesilovačem

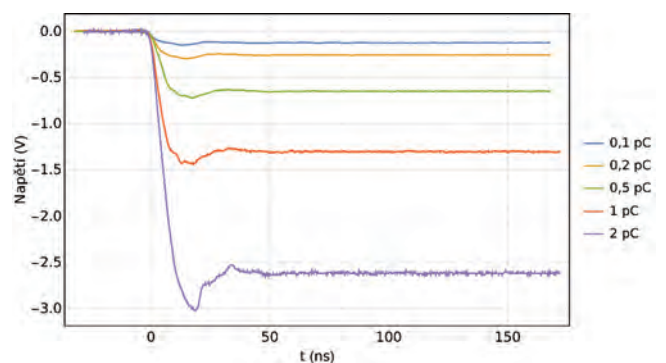
V rámci úkolu Programu rozvoje metrologie č. VIII/6/23 bylo sestaveno ověřovací zařízení pro kalibrátory částečných



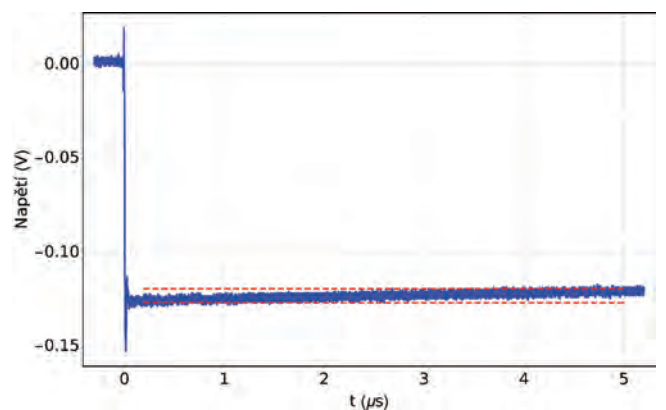
**Obr. 5:** Deska plošného spoje umístěná do stínícího boxu

výbojů, založené na využití nábojově citlivého zesilovače. Deska plošného spoje tohoto zařízení byla z důvodu potlačení rušení umístěna do stínícího boxu viz **obr. 5**.

Parametry realizovaného zařízení byly ověřovány pomocí měření, kdy vstupním signálem byl impuls z kalibrátoru Omicron CAL-542 (Option A) pro hodnoty nábojů v rozmezí 0,1 – 2 pC. Zaznamenané časové průběhy výstupního napětí nábojového zesilovače pro jednotlivé hodnoty nábojů jsou uvedeny na **obr. 6**. Základním parametrem pro ověření správné činnosti nábojového zesilovače bylo splnění podmínky dovoleného poklesu výstupního napětí dané rovnicí 2. Toto výstupní napětí musí být v pásmu  $\pm 3 \%$  od jeho střední hodnoty v časovém intervalu  $(0,2 - 5) \mu\text{s}$ . Příklad dodržení limitních hodnot (vyznačených červenou přerušovanou úsečkou) pro hodnotu náboje kalibrátoru 0,1 pC je uvedeno na **obr. 7**.



**Obr. 6:** Průběhy výstupního napětí v rozsahu (0,1-2) pC



**Obr. 7:** Kontrola poklesu výstupního napětí pro 0,1 pC

#### Závěr

V příspěvku byla uvedena problematika měření částečných výbojů pro diagnostiku izolačních systémů elektrických strojů. Z uvedeného vyplývá nutnost kalibrace měřicích systémů částečných výbojů pomocí kalibrátorů částečných výbojů. U těchto kalibrátorů je nutné pravidelně ověřovat jejich parametry, aby bylo zajištěno korektní měření hodnot náboje pomocí měřicích systémů částečných výbojů. Základní dvě metody ověření parametrů kalibrátorů, definované v normě ČSN EN 60270, byly rovněž popsány v tomto příspěvku. Výrobci kalibrátorů částečných výbojů v současné době dodávají tato zařízení s hodnotami



generovaného náboje až 0,1 pC, přičemž pro takto nízké hodnoty náboje již nejsou výše uvedené základní metody ověření vyhovující. Proto byla popsána přesnější metoda využívající nábojově citlivé zesilovače. Touto metodou lze dosáhnout rozšířené celkové nejistoty menší než 1 % v rozsahu od 20 pC do 0,1 pC a menší než 3 % při 0,01 pC ( $k = 2$ ). Z prezentovaných výsledků je patrné, že metoda využívající nábojově citlivé zesilovače je vhodnou metodou pro ověřování kalibrátorů částečných výbojů v rozsahu nábojů do 10 pC. Při realizaci zařízení s nábojově citlivým zesilovačem bylo provedeno základní ověření jeho vlastností tak, aby vyhovovalo požadavkům příslušných standardů a požadované přesnosti. Vývoj tohoto zařízení dále pokračuje a součástí následujícího řešení bude rovněž stanovení převodní konstanty nábojového zesilovače integrátoru a určení nejistot měření. Tím bude zajištěna možnost využití tohoto zařízení pro testování kalibrátorů velmi malých hodnot částečných výbojů v metrologických pracovištích.

## 6. Literatura

- [1] ČSN EN 60270 – Technika zkoušek vysokým napětím – Měření částečných výbojů, 2001.
- [2] Bureau International des Poids et Mesures. Calibration and Measurement Capabilities, Electricity and Magnetism, [Online]. Available: <http://kcdb.bipm.org/appendixC/>
- [3] Havunen J., Hällström J., Bergman A., and Bergman A. E.: “Using deconvolution for correction of non-ideal step response of lightning impulse digitizers and measurement systems,” presented at the 20<sup>th</sup> Int. Symp. High Voltage Eng. (ISH), 2017.
- [4] Gobbo R., Pesavento G., Sardi A., Varetto G., Cherbaucich C., and Rizzi G.: “Influence quantities in the calibration of PD calibrators contribution to the uncertainty estimate,” in Proc. 11th Int. Symp. High Voltage Eng., Aug. 1999
- [5] Havunen J., Hällström J.: Application of Charge-Sensitive Preamplifier for the Calibration of Partial Discharge Calibrators Below 1 pC, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 68, no. 6, June 2019
- [6] CR-110-R2 charge sensitive preamplifier – application guide, Cremat Inc.



## INFORMACE ČESKÉHO KALIBRAČNÍHO SDRUŽENÍ Z.S.

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

České kalibrační sdružení, z.s.,

Člen sdružení EUROCAL

Elišky Krásnohorské 996/24B, 618 00 Brno



**ČKS uspořádá v prvním pololetí roku 2024:**

- **65. Odbornou konferenci ČKS** spojenou se schůzí spolku **ve dnech 26. a 27. března 2024**. Konference bude zaměřena na aktuální problémy kalibračních laboratoří a Autorizovaných metrologických středisek. Konference se bude konat tradičně v hotelu Skalský dvůr v Lísku u Bystřice nad Pernštejnem.



Hotel Skalský dvůr v Lísku u Bystřice nad Pernštejnem

- **Seminář „Vodoměry a měřidla tepla“ ve dnech 14. a 15. května 2024**. Seminář bude uspořádán ve spolupráci s ČMI a bude zaměřen na aktuální legislativu v metrologii, autorizaci AMS. Hlavními tématy bude novelizovaná norma EN ISO 4064 a novelizace vyhlášky č. 345/2002 Sb. Seminář se bude konat v hotelu Kurdějov.



Hotel Kurdějov

Programy a přihlášky budou uveřejněny na webových stránkách ČKS [www.cks-brno.cz](http://www.cks-brno.cz). Na těchto stránkách naleznete rovněž informace o podmínkách členství v Českém kalibračním sdružení, kontakt je e-mail: [sekretar@cks-brno.cz](mailto:sekretar@cks-brno.cz).

## PŘÍVODY MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ A JEJICH VLIV NA MĚŘENÍ – ČÁST III

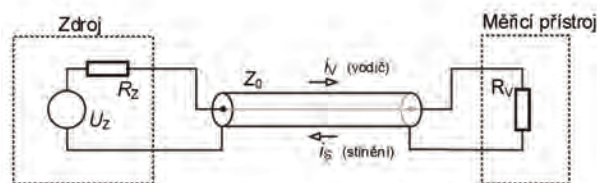
**Ing. Jana Horská, Ph.D.**

*AKL EG.D., a.s.*

### 1. Koaxiální kabely

Jedním z možných propojení dvou měřicích přístrojů je použití koaxiálního kabelu, v němž se signál vede oběma vodiči kabelu.

Koaxiální kabel byl vynalezen v roce 1880 anglickým inženýrem a matematikem Oliverem Heavisidem.

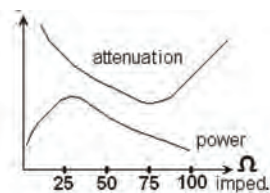


Obr. 1: Spojení koaxiálním kabelem

Koaxiální kabely patří mezi přenosová média drátového charakteru. Podle provedení konstrukce jsou označovány jako asymetrické. Název koaxiální znamená souosý (co = spolu, sou-, axiální = osový, -osý), protože osy obou vodičů splývají a prochází geometrickým středem kabelu. Koaxiální kabel má připojené koaxiální konektory na obou stranách. Jeho vlastnosti závisí na rozměrech a použitém materiálu. Tyto parametry rozhodují o hodnotě charakteristické impedance koaxiálního kabelu, která je udávána v ohmech. Vyjadřuje odpor, který kabel klade střídavému proudu.

#### 1.1 Parametry

Důležitým parametrem každého koaxiálního kabelu je charakteristická impedance měřená v ohmech. Nejčastěji se používají koaxiální kabely s impedancí 50 a 75 ohmů. Na obr. 2 je zřejmé, že nejnižšího útlumu (attenuation) je dosaženo při impedanci přibližně 75  $\Omega$  a maximálního výkonu při 30  $\Omega$  (pro kabely stejné velikosti).

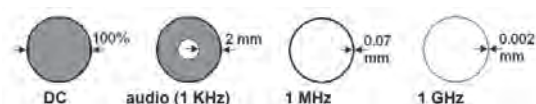


Obr. 2: Koaxiální kabel, útlum a velikost přeneseného výkonu v závislosti na charakteristické impedanci

Americké námořnictvo se během druhé světové války rozhodlo použít hodnotu 52  $\Omega$  jako kompromis mezi útlumem a maximálním výkonem (zaokrouhлено na 50  $\Omega$ ). Se zrodem televize bylo místo toho rozhodnuto použít hodnotu 75  $\Omega$ , protože zajišťovala minimální útlum.

Volba dielektrika je důležitá z pohledu ztrát v kabelu. Teflonové dielektrikum má menší vložný útlum než klasický polyetylen.

Útlum vlivem povrchového efektu (skin efekt) odpovídá druhé odmocnině frekvence. Obecně skin efekt se uplatňuje především na nízkých a středních frekvencích, dielektrické ztráty dominují při vysokých frekvencích. Vliv skin efektu je možné snížit použitím vícežilového vodiče.



Obr. 3: Skin efekt ve vodiči pro různé kmitočty, <https://www.rf-microwave.com/app/resources/>

Správné používání koaxiálních konektorů je důležité nejen v oblasti vř a mikrovlnných kmitočtů, ale i u nízkých kmitočtů a dc signálu. Při nesouladu charakteristických impedancí dochází k nežádoucím útlumům a odrazům, což způsobuje chyby přenosu signálu.

#### 1.2 Rozdělení

Měřicí kabely s koaxiálním kabelem RG 58 mají charakteristickou impedanci 50  $\Omega$ . Střední vodič je 19žilový (s pocínovanými drátky o průměru 0,18 mm). Při impedanci 50  $\Omega$  má C 101 pF/m, odpor vnitřního vodiče je 37  $\Omega$ /km a vnitřního 17  $\Omega$ /km. Stínící účinek není dokonalý, opletení je řídké s překrytím 95 %, kabel je odolný vůči častému ohýbání. Je vhodný pro napětí do 300 V a pro signály do 100 MHz do 1 GHz. Kabel RG 59 je stejného provedení, pouze charakteristická impedance je 75  $\Omega$ , C okolo 60 pF/m. Oba typy jsou v provedení s jedním opletením. Další možností je kabel RG 213, který je velmi robustní, vnější vodič má 6,4  $\Omega$ /km a vnitřní 5,2  $\Omega$ /km.

Kabely pro 100% odstínění mají vnější vodič tvořený Al nebo Cu fólií. Nevýhodou takových kabelů je to, že nejsou vhodné pro časté ohýbání, protože fólie se láme a paralelní vodič vedle fólie je velmi tenký.

Nízkošumové kabely jsou speciálně konstruovány pro potlačení triboelektrického jevu při měření velkých odporů nebo velmi malých signálů. Nízkošumové kabely jsou vyráběny se speciální polovodivou vrstvou mezi dielektrikem a stíněním, která účinně působí proti mikrofonnímu šumu. Snižují šum oproti RG 58 až 1000x. Pro běžné koaxiální kabely tímto způsobem může vzniknout proud  $10^{-8}$  A až  $10^{-12}$  A, pro nízkošumové je potlačen na  $10^{-13}$  A až  $10^{-15}$  A.

#### 1.3 Kabely a konektory – vlastnosti pro vř měření

Pro oblast frekvence nad 100 MHz jsou kabely a konektory hodnoceny podle jejich vložného útlumu a odrazů. Tato oblast je velmi podrobně zpracována a dokumentována a potřebné údaje i měřicí metody jsou běžně dostupné.

#### 1.4 Kabely a konektory – vlastnosti pro nf měření

Vlastnosti pro kabely a konektory pro nf měření jsou méně známé, proto je vhodné uvést několik hlavních poznámek.

N konektory jsou také vhodné pro nf etalony. Mají malé přechodové odpory, pro vnitřní vodič pod 1 mW a pro vnější pod 0,2 mW. Bohužel v této oblasti se mnoho nepoužívají; prakticky všechny přístroje a důležité etalony, hlavně pro širokopásmová měření, jsou opatřeny konektory BNC, nezbyvá tedy než u těchto konektorů zůstat.

### 1.5 Kompenzace vlivu přívodů

Kapacita koaxiálního kabelu je snadno měřitelná a relativně stabilní, což umožňuje ji zadat bez větších problémů ke kompenzaci vlivu přívodů vodičů. Odpor je silně ovlivněn stabilitou přechodového odporu BNC konektorů, která může dosahovat až desítky procent z hodnoty odporu kabelu; odpor má velký vliv na  $\text{tg } \delta$  a je problematické jej správně započítat do kompenzace. Posledním parametrem je indukčnost L kabelu. V tomto případě se nejedná o L z vlnové impedance kabelu, ale o L smyčky kabelů mezi přístrojem, měřeným objektem a druhou svorkou přístroje (mostu). Indukčnost záleží na poloze kabelů. Většina koaxiálních kabelů s charakteristickou impedancí 50 Ohm vykazují hodnoty indukčnosti 1,1 uH/m a kapacitu 100 pF/m.

## 2. Speciální kabely

### Polotuhé (semirigid) kabely



Obr. 4: Polotuhý (semirigid) kabel

Ve své nezákladnější formě je polotuhá kabelová sestava koaxiální přenosové vedení sestávající z kovové trubky, obvykle vyrobené z mědi, která tvoří vnější vodič, a vodiče z kovového drátu probíhajícího středem trubky. Středový vodič je podpořen dielektrickým materiálem,

kteřý udržuje drát ve středu trubky podél stejné osy vnějšího vodiče. Mají široký frekvenční rozsah, běžně podporují přenosy signálu až do 65 GHz. Vzhledem k vysoce kvalitním materiálům používaným k výrobě polotuhých kabelů jsou tyto kabely velmi elektricky stabilní ve srovnání s flexibilním koaxiálním kabelem používajícím vnější vodič s opletením.

## 3. Konektory – starší typy

### 3.1 UHF konektor

Jedná se o typický koaxiální kabel průměru 18 mm. Přenášené pásmo typicky 0-100 MHz. Označení konektor SO-239 (female) a PL-259 (male).



Obr. 5: UHF konektor

Konektory mají nestálou impedanci. Z tohoto důvodu jsou UHF konektory obecně použitelné v oblasti HF a spodní části frekvenčního rozsahu VHF. Konektory UHF dokáží zpracovávat špičkové výkonové úrovně vysokofrekvenčního signálu nad jeden kilowatt pro napětí až 500 V.

#### 3.1.1 Miniaturní konektor UHF

Konektory Mini-UHF jsou miniaturizované verze UHF konektorů, které byly určeny především pro použití

v mobilních telefonech a podobných aplikacích, kde velikost je důležitým faktorem. Pásmo až do 2,5 GHz.

### 3.2 7/16 DIN konektor

Konektor 7-16 DIN nebo 7/16 (sedm a šestnáct milimetrů DIN) je 50  $\Omega$  závitový RF konektor používaný pro připojení koaxiálních kabelů. Jedná se o jeden z nejpoužívanějších vysokofrekvenčních RF konektorů. Nesmí být zaměňován s podobně znějícími přírubovými adaptéry EIA, které jsou označeny vnějším průměrem ve zlomcích palce. Konektor 7/16 DIN je vysokofrekvenční konektor široce používaný v anténních systémech nebo základních stanicích, kde poskytuje lepší výkony týkající se rušení a odolnosti proti intermodulaci.

### 3.3 GR 874 konektor

Typ RF koaxiální konektor. Konektor GR, oficiálně General Radio Type 874, byl typ konektoru RF používaného pro připojení koaxiálního kabelu a byl široce používán v elektronickém testovacím zařízení General Radio a v některých přístrojích Tektronix.



Obr. 6: GR konektor

Stabilní impedance v širokém rozsahu frekvencí (50  $\Omega$ ), nízká odrazivost a spolehlivé spojení do 9 GHz. Při propojení funguje hermafroditismus, takže neexistují „male“ a „female“ konektory. Jakýkoliv konektor GR se může spojit s jiným konektorem GR. Toho je dosaženo tím, že oba vnitřní a vnější vodiče jsou vyrobeny ze čtyř listů, z nichž dva jsou lehce směrem ven a dva z nich směrem dovnitř. Otočením jednoho konektoru o 90 stupňů se jeho vnitřní listy spojí s vnějšími listy druhého konektoru a naopak. Když byly tyto konektory často spojovány, vnitřní listy byly náchylné k poškození.

GR-874 byl nejdříve nahrazen konektorem typu N (7 mm), dále konektorem BNC a později APC-7.

### 3.4 Musa konektor



Obr. 7: Musa konektor

Je starý typ koaxiálního konektoru původně vyvinutého pro ruční přepínání rádiových signálů. Má charakteristickou impedanci  $75 \Omega$  a byl také používán v televizním průmyslu.

Konektor Musa byl navržen tak, aby byl robustní a spolehlivý, obvykle s použitím pevných postříbřených kontaktů.

### 3.5 BNC

BNC je nejrozšířenější koaxiální konektor pro nf měření, viz **obr. 8**.



Obr. 8: BNC konektor

Používá se hlavně pro méně významné spoje. Pro jeho použití platí, že je potřeba vizuální kontrola a případné čištění, pro náročnější aplikace se převede přechodovým členem na metrologicky kvalitnější konektor, např. typ N.

BNC konektor existuje v provedení  $50 \Omega$  BNC i  $75 \Omega$ .

Vlastnosti:

Impedance	$50 \Omega$
Rozsah frekvence	0-4 GHz
Max napětí	500 V špička.

Materiálem konektoru je pozlacená mosaz pro kolík, zdírka je z beryliové mědi nebo fosforbronz, stříbřená nebo zlacená, ostatní části z mosazi niklované nebo stříbřené. Má mít  $1,5 \text{ m}\Omega$  u vnitřního a  $0,2 \text{ m}\Omega$  u vnějšího vodiče. Toto provedení zajišťuje stabilní přechodový R, který by v průběhu životnosti konektoru neměl přesáhnout pro vnitřní vodič  $12 \text{ m}\Omega$ . Kritické je provedení vnějšího vodiče, který má být pružný, tvořený z několika segmentů; u levnějších typů je vnější vodič proveden nalisovaným proužkem bez dostatečné pružící schopnosti, čímž se znehodnocuje kontakt. Dielektrikum konektorů je obvykle velmi kvalitní PTF nebo FEP.

Přechody z BNC na banány patří mezi spolehlivé přechody s dlouhou životností.

Komerční spojky typu zdírka-zdírka se časem uvolní a spojení není spolehlivé. Je třeba počítat s jejich omezenou životností a po čase je vyměnit. Spojky kolík-kolík se většinou používají méně často a mají i delší životnost.

T kusy jsou nezbytné hlavně při impedančních měřeních, ukázky provedení T kusů viz **obr. 9**. Je nutné pravidelně kontrolovat přechodový odpor a jeho stabilitu mezi kolíkem na boční straně a ostatními kolíky. Některé T kusy jsou provedeny tak, že střední vodič v podélné větvi je průchozí, ale z boční větve mívá pružinku, kterou se dotýká středního vodiče podélných větví. Toto spojení nemusí být stabilní.



Obr. 9: Ukázky provedení T kusů konektorů BNC

### 3.6 Konektor TNC

Konektor TNC je závitová verze konektoru BNC. Konektor má impedanci  $50 \Omega$  a pracuje nejlépe v kmitočtovém spektru 0-11 GHz. Má lepší parametry než BNC konektor při mikrovlnných frekvencích.



Obr. 10: TNC konektor se závitem

Existují i konektory TNC s impedancí  $75 \text{ ohmů}$  poskytující dobré přenosové vlastnosti do 1 GHz.

### 3.7 Twin BNC (twinax)

Konektory Twin BNC (známé také jako twinax) používají stejný bajonetový uzávěr jako obyčejný BNC konektor, ale obsahují dva nezávislé kontaktní body (zástrčku a zásuvku) umožňující připojení  $75 \Omega$  nebo  $95 \Omega$  stíněných diferenciálních párů. Mohou pracovat až do 100 MHz a 100 voltů. Nelze je spojovat s běžnými konektory BNC.



Obr. 11: Twin BNC (twinax) konektor

### 3.8 Triaxiální konektor BNC

Triaxiální (také známý jako triax) konektory jsou variantou BNC. Obsahují tři vnitřní vodiče (signálový, ochranný a zemnicí vodič). Používají se v citlivých elektronických měřicích systémech.

### 3.9 Miniaturní konektory

BNC konektory se běžně používají v elektronice, ale v některých aplikacích jsou nahrazeny miniaturními konektory LEMO 00, které umožňují výrazně vyšší hustoty v zapojení.

### 3.10 N konektor

N konektor je odolný, často používaný typ konektoru.



Obr. 12: Provedení N konektoru

Důvody jsou jeho robustní konstrukce a velikost. Konektor byl navržen s cílem získat odolnost proti neúmyslnému poškození vyosením konektorů při spojování.

V předešlých dvou částech jsme se zabývali problematikou rušivých vnějších vlivů na zařízení, parazitními vazbami, druhy rušení a způsoby jeho přenosu do měřicího systému. Ve 3. části je uveden přehled nepoužívanějších kabelů a konektorů. Na závěr této problematiky bychom se v příštím čísle věnovali praktické stránce práce s přívody měřicích přístrojů v kalibrační laboratoři.

## VYSOKORYCHLOSTNÍ VÁŽICÍ SYSTÉMY

**Ing. Ivan Kříž**

*Český metrologický institut*

Vysokorychlostní vážicí systémy (WIM) se stále více používají v oblasti legální metrologie a pro účely tzv. „law enforcement“, což je vymáhání poplatků a pokut za nadlimitní přetížení silničních vozidel, které ve velké míře způsobuje poškozování silniční infrastruktury. Legální použití takovýchto systémů však vyžaduje existenci jednotných standardů, podle kterých by se posuzovala vhodnost jejich použití, jejich certifikace a v konečném důsledku jejich ověření. Prozatím však neexistuje jednotný standard, který by byl akceptovatelný na světové nebo alespoň evropské úrovni. Některé státy (kterých prozatím není mnoho a které umožnily nasazení těchto systémů do „law enforcement“) si vytvořily vlastní standardy. Česká republika byla v tomto ohledu první. Již v roce 2010 bylo do českého právního rámce uvedeno opatření obecné povahy regulující tyto systémy v ohledu technických a metrologických požadavků, certifikací a ověřování. .



Obr. 1: HS WIM systémy v praxi

Při tvorbě správného aktu, tedy onoho opatření obecné povahy, se vycházelo ze tří dostupných dokumentů. Později se ukázalo, že stejnou cestou se vydaly i další státy, které navíc i čerpaly inspiraci z České republiky.

V současnosti existují tři „standards“, které se dají využít pro stanovení podmínek nebo klasifikace WIM systémů.

Z nich vycházelo i již zmíněné opatření obecné povahy. Těmito standardy, respektive dokumenty jsou:

### Evropská specifikace WIM COST323 (2002)

Platí pro Low Speed (LS) a vysokorychlostní (HS) WIM systémy pro všechny aplikace. Tento dokument je široce používán výrobci a uživateli po celém světě. I když formálně nejde o oficiální mezinárodní standard, je široce používán při testování a přejímání WIM systémů.

### ASTM E-1318 Specifikace pro vážení za pohybu (ASTM, 2009)

Definuje a specifikuje čtyři různé typy WIM systémů. Systém typu IV je určen pro nízkorychlostní vážení pro účely vymáhání práva a k usnadnění vztahu mezi kupujícím a prodejcem v neprávnických aplikacích.

### OIML R-134 (2006) „Automatické váhy pro vážení silničního vozidla za pohybu a určování zatížení na nápravu“.

### Porovnání dokumentů COST 323 a ASTM E-1318

Oba výše uvedené dokumenty byly vydány za účelem standardizace systémů pro vážení silničních vozidel za pohybu. Předpisy se týkají zejména vysokorychlostních WIM systémů, tj. systémů instalovaných v jednom nebo více jízdnicích pružích a pracujících automaticky za běžných podmínek silničního provozu. Přesto lze oba předpisy aplikovat i na nízkorychlostní WIM systémy, tj. systémy instalované ve zvláštní vážicí zóně mimo běžné jízdnicí pruhy, kam jsou vozidla k vážení navedena kompetentním orgánem (např. policie); tyto systémy pracují též automaticky, ale rychlost je omezena na max. 5 až 16 km/h.

Dokument COST 323 – European WIM Specification byl tvořen na základě požadavků a doporučení členských států COST 323 a ve velké míře vychází z řady stávajících amerických předpisů, zejména ze srovnávaného ASTM E 1318 ve verzi z roku 1994. I když má tento předpis prozatím pouze předstandardizační (doporučující) platnost, očekává se, že bude v krátké době publikován jako evropský standard.

Dokument ASTM E 1318 je v USA používán od roku 1990 jako závazný standard a jeho aktualizace v roce 1994 a 2000 zachycují některé nové požadavky související s vývojem technologií v tomto oboru.

### Terminologie

V terminologii není mezi oběma dokumenty významný rozdíl. Některé definice jsou téměř totožné, což svědčí o velké míře vzájemného ovlivnění autorů obou dokumentů.

### COST kap. 3

### ASTM kap. 3

### Požadavky a účel použití

Téměř shodně je v obou dokumentech definován účel použití WIM systémů ve třech oblastech:

- a) **Statistiky:** Ekonomické a technické studie přepravy nákladů, obecné vyhodnocení provozu na silnicích a mostech, sběr statistických dat atd.
- b) **Infrastruktura a předvýběr:** Detailní rozbor provozu, návrh a údržba vozovek a mostů, přesná klasifikace vozidel, předvýběr pro přesnou kontrolu zatížení atd.
- c) **Legální použití:** Přesné vážení s následným vymáháním pokut za překročení zatížení a průmyslové aplikace, ale pouze v případech, kdy legislativa povoluje použití WIM pro tyto účely.

**COST kap. 4**

**ASTM kap. 4**

### Třída přesnosti, resp. typ WIM systému

Přístup obou dokumentů ke stanovení potřebné třídy přesnosti WIM systému je poněkud rozdílný.

Předpis ASTM rozlišuje tři typy WIM systému podle oblasti použití (viz výše) a označuje je římskými číslicemi I, III a IV. Tyto typy odpovídají výše uvedeným oblastem použití, a to **I – a**, **III – b** a **IV – c**. Každý z uvedených typů má stanovenou maximální dovolenou chybu pro zjištění celkové hmotnosti vozidla, zatížení samostatné nápravy, zatížení kola a zatížení sdružené nápravy. Tyto údaje jsou shrnuty v **tabulce č. 2** dokumentu ASTM. V tabulce jsou rovněž uvedeny maximální dovolené chyby pro měření rychlosti a vzdálenosti náprav vozidla. Pro každý typ systému je jednoznačně vymezen rozsah rychlosti, při kterých systém pracuje, a to pro typ I – 16 až 130 km/h, pro typ III – 24 až 80 km/h a pro typ IV – 0 až 16 km/h. Je zřejmé, že uvedené rychlostní rozsahy odpovídají účelu použití systému.

Předpis ASTM ještě rozlišuje typ II. Ten je téměř totožný s typem I, avšak nevyhodnocuje zatížení jednotlivého kola.

Předpis COST v tabulce č. 5 uvádí tolerance pro pět základních tříd přesnosti. Třídy označuje A(5), B(10), C(15), D(25) a E. Číslo v závorce označuje maximální dovolenou odchylku pro zjištěnou celkovou hmotnost vozidla. Dvě třídy se zvýšenou přesností jsou zde uvedeny pod označením B+(7) a D+(20). Tabulka pro každou třídu přesnosti udává maximální dovolenou chybu pro zjištěnou celkovou hmotnost vozidla, zatížení samostatné nápravy (osy), zatížení sdružené nápravy, zatížení osy sdružené nápravy, a dále maximální dovolenou chybu pro zjištěnou rychlost vozidla, osovou vzdálenost a celkový rozvor vozidla. Kromě toho tento předpis povoluje vytvoření libovolné interpolované třídy A až D podle grafu na obrázku č. 1 předpisu. Pro systémy s přesností horší než 25 % lze podle uvedeného grafu stanovit třídu přesnosti E(d), kde d reprezentuje maximální povolenou odchylku pro zjištěnou celkovou hmotnost vozidla v procentech a její hodnoty se inkrementují v krocích po 5 %.

Předpis COST v kapitole 4 určuje třídu přesnosti WIM systému pro různé oblasti použití. Výše uvedeným oblastem použití odpovídají zhruba tyto třídy přesnosti: **D+(20)** nebo **D(25) – a**, **B(10)** nebo **C(15) – b** a **A(5)** nebo **B+(7) – c**.

**Tabulka 1:** Přehledně ukazuje přiřazení tříd přesnosti podle COST nebo typu systému podle ASTM jednotlivým oblastem použití.

Oblast použití WIM systému	Třída přesnosti podle COST	Typ WIM systému podle ASTM
a) Statistika	D+ (20)	Typ I
b) Infrastruktura a předvýběr	B (10)	Typ III
c) Legální použití	A (5)	Typ IV

**Tabulka 2:** Pak uvádí k jednotlivým třídám přesnosti dle COST a typům systému dle ASTM povolené tolerance vyhodnocovaných údajů.

Tolerance pro jednotlivé třídy přesnosti [%]						
Předpis	COST			ASTM		
Třída přesnosti / typ váhy	D+ (20)	B (10)	A (5)	Typ I	Typ III	Typ IV
Celková hmotnost	20	10	5	10	6	4
Zatížení osy	25	15	8	20	15	4
Zatížení sdružené nápravy	23	13	7	15	10	5

Lze říci, že tvůrci obou předpisů přistupují ke stanovení přesnosti WIM systému ke konkrétní aplikaci se snahou o dosažení maximální přesnosti a s ohledem na současnou úroveň technologie při zachování ekonomických hledisek.

Přejímací kritéria podle předpisu ASTM jsou poněkud tvrdší než u předpisu COST (viz **tabulka 2**). Je to dáno tím, že americký dokument předepisuje stejné tolerance nerovností vozovek v okolí váhy pro všechny typy systémů. Předpis COST povoluje i méně kvalitní povrchy pro nižší třídy přesnosti (viz dále).

**COST kap. 4 a 8**

**ASTM kap. 4 a 5**

### Výběr místa pro váhu

Oba dokumenty shodně kladou maximální důraz na výběr místa pro vážní mosty resp. snímače a na geometrii, rovinnost, strukturu a kvalitu provedení povrchu vozovky v úsecích před a za vážními snímači.

Kritéria pro geometrii vozovky, tj. maximální podélný sklon, maximální příčný sklon a minimální poloměr zakřivení, jsou v obou předpisech totožné. Rozdílné metody jsou použity k měření nerovností a deformací vozovky pod určitým zatížením.

Předpis COST uvádí v **tabulce 1** hodnoty průhybových deformací měřené pojízdným deflektografem. Podle hodnot deformací rozlišuje tři třídy polotvrdého povrchu, a to I – výborný, II – dobrý a III – přijatelný. V **tabulce 2** pak uvádí vztah mezi požadovanou třídou přesnosti systému a doporučenou třídou povrchu. Z **tabulky 2** vyplývá, že pro dosažení potřebné přesnosti je pro třídy přesnosti A(5) až B(10) požadován povrch vozovky ve třídě I. Pro třídy přesnosti C(15) až D(25) postačuje povrch vozovky ve třídě III. Betonové povrchy (tvrdé) se automaticky považují za výborné ve třídě I, pokud splňují kritéria rovinnosti.

Rovinnost povrchu je podle dokumentu COST měřena taženým zařízením APL a požadované tolerance pro jednotlivé třídy povrchu jsou též uvedeny v **tabulce 1**.

Dokument ASTM nerozlišuje kvalitu povrchu z hlediska průhybových deformací do tříd jako předpis COST, ale jednoznačně požaduje pro systémy WIM typu III a IV zhotovení povrchu vozovky ze souvislého nebo spárovaného betonového koberce v délce 60 m před a 30 m za snímačem zatížení. Rovněž předepisuje konstrukci přechodových sekcí z betonových úseků na měkké vozovky.

Rovinnost povrchu vozovky podle ASTM je ověřována pravítkem o délce 6 m. Právítko je postupně pokládáno na vozovku podle předepsaného schématu a kruhovou destičkou o průměru 150 mm a tloušťce 3 mm je zjišťováno, zda mezera mezi pravítkem a vozovkou neumožňuje protažení destičky. Pro dosažení spolehlivosti provozu v rozsahu tolerancí příslušného typu WIM musí být povrch vozovky 60 m před a 30 m za snímačem zhotoven a udržován tak, aby vyhověl při výš uvedeném měření.

Při porovnání je předpis ASTM v požadavcích na geometrii, rovinnost a strukturu vozovky tvrdší než požadavky COST. Proto také připouští menší interval tolerancí pro jednotlivé typy WIM systémů. Je zde zřejmá snaha tvůrců amerického předpisu o to, aby byly výsledky měření (resp. správnost měření) minimálně ovlivněny okolním prostředím. V souvislosti s touto snahou je výhodná i používaná metoda kontroly nerovností povrchu jednoduchými prostředky (právítko, kotouč). Tyto pomůcky mohou být pořízeny k systému a parametry nerovností mohou být kdykoliv ověřeny bez dodatečných nákladů na měření pomocí mobilního zařízení profilu.

Bez zajímavosti také není přístup předpisu k tomuto problému z hlediska zodpovědnosti. Předpis ukládá zodpovědnost za udržení parametrů vozovky ne výrobcí nebo dodavateli systému, ale uživateli, resp. provozovateli.

**COST kap. 5**

**ASTM kap. 5**

### Ostatní provozní požadavky

Provozní požadavky týkající se pracovních teplot, vlhkosti vzduchu, elektrického napájení a ochrany proti blesku jsou u obou předpisů totožné a jsou běžné jako u jiných podobných elektronických zařízení pracujících jak ve venkovním prostředí, tak v uzavřených objektech.

**COST kap. 6**

**ASTM kap. 5**

### Naměřené údaje, zpracování a přenos dat

Oba srovnávané předpisy se shodují v tom, že vysokorychlostní WIM systémy vyhodnocují údaje o přejíždějících vozidlech automaticky, tyto údaje uchovávají v paměti vyhodnocovací jednotky a musí být schopny je zobrazit, vytisknout a případně přenést do nadřazeného výpočetního systému.

Evropský předpis COST ve velké míře ponechává rozsah vyhodnocovaných údajů na konkrétních požadavcích uživatele, rovněž tak formu, v jaké budou datové záznamy prezentovány. Kromě toho, že předepisuje prezentaci zjištěných hmotností v pracovních dílcích závislých na třídě přesnosti systému, mají ostatní odstavce týkající se datové základny

doporučující charakter a je zde ponechán prostor pro další vývoj v této oblasti.

Americký předpis ASTM ve své poslední verzi na základě potřeb různých uživatelů a zkušeností z provozování velkého množství WIM systémů všech typů v USA prosazuje u každého typu systému jednotnou množinu údajů generovaných systémem. Zároveň předepisuje parametry, které musí být umožněno uživateli zadat či změnit. Jednotně musí být detekovány zjištěné zátěžové přestupky, nedodržení rychlosti a nadměrné zrychlení nebo zpomalení v průběhu přejezdu vozidla nad snímači. Systémy typu III musí být vybaveny automatickými signály pro ovládání signalizačních návěstí, prostřednictvím kterých lze odklonit podezřelé vozidlo do jiného jízdního pruhu pro kontrolní vážení. Systémy typu I musí povinně vypočítat ke každému vozidlu hodnotu ESAL a v zálohované paměti ji kumulovat. ESAL představuje hodnotu zatížení jedné osy. Tato hodnota zatížení odpovídá z hlediska opotřebení vozovky právě průjezdu vozidla, pro které je vypočtena.

**COST kap. 12**

**ASTM kap. 4, 5**

### Metody zkoušení – typová zkouška, přejímací zkouška, kalibrace na místě instalace

Americký předpis popisuje v kapitole Metody zkoušení postupy pro posuzování každého typu WIM systému. Jsou zde dány postupy zkoušky schválení typu pro jakýkoliv nově modifikovaný typ nebo model WIM systému a přejímacích zkoušek na místě instalace. Předpis zde také uvádí kalibrační postup na místě instalace.

Specifikuje zde požadavky na zařízení pro statické určování hmotnosti zkušebních vozidel, a to odkazem na požadavky dané v NIST Handbook 44. V souvislosti s tím specifikuje způsob použití těchto zařízení na určování hmotností ve statickém režimu, a to v souvislosti s povrchovými podmínkami, které musí být splněny při použití přenosných zařízení pro statické vážení. Uvádí zde podrobný postup při určování referenčních hodnot při vážení vozidel a postup výpočtu. Předpis zde v podstatě dělí zkušební postupy na přejímací zkoušky, kalibrace na místě instalace a metody typových zkoušek dělí podle typu WIM systému (pro typ I, II a III a IV). Důležitá je specifikace vozidel použitých v tzv. zkušební jednotce podle tříd vozidel.

Tato kapitola se také podrobně zabývá způsobem uvádění a zaznamenávání výsledků zkoušek a jejich prezentací a uchováváním pro budoucí použití.

Evropský COST v kapitolách, které se týkají zkoušení WIM systémů, vymezuje pojmy *první ověření* a *ověření v provozu*. Uvádí zde požadavky na toleranci výsledků při kalibraci statickým zatížením ve vztahu k dovoleným odchylkám pro zatížení náprav, skupiny náprav a celkového zatížení vozidla a tolerance při kalibraci pomocí přejezdů předem zvážených vozidel.

Při specifikaci vah pro zjišťování statických zatížení zkušebních vozidel se omezuje na požadavek schválení takového vah. (ASTM odkazuje na požadavky dané zvláštním předpisem. Určení různých typů statických vah pro zjišťování

statických zátěží – celková hmotnost, zatížení na nápravu, skupinu náprav atd. – je obdobné jako v předpise ASTM.)

COST specifikuje tři základní zkušební plány a doporučení na použití určitého zkušební plánu pro určitý typ zkoušky. Na rozdíl od předpisu ASTM tedy striktně nepřikazuje určitou metodiku k danému typu vah nebo druhu zkoušky. Výběr vozidel se (podobně jako v ASTM) obecně řídí pravidlem co možná nejvíce reprezentativního vzorku v místě instalace.

COST dělí tyto zkušební plány v závislosti na požadované úrovni pravděpodobnosti a zohledňuje přitom hledisko ekonomické náročnosti zkušební plánu. Rozlišuje celkem tři typy zkušebních plánů, z nichž dva první jsou dále děleny na dva podplány tak, aby vyhovovaly požadavkům uživatele. Plán č. 1 je podle COST doporučen pro periodické kontroly WIM systémů (např. roční) a může být tedy využit pro ověřování v provozu. Plán č. 2 je časově náročnější a je využitelný v podstatě pro prvotní ověření. Plán č. 3 je nejvíce reprezentativní, ale na druhé straně nejvíce časově náročný a nabízí se pro schvalování typu. Počet přejezdů zkušebních vozidel závisí na použitém typu zkušební vozidla a posuzovaného parametru.

ASTM dává zřejmě podrobnější návod zkoušení WIM systémů a vychází pravděpodobně více z praktických zkušeností. Postup v dokumentu COST je popsán stručněji a je jednodušší, přičemž využívá znalosti úrovně pravděpodobnosti.

Základní způsob výpočtu je v obou předpisech téměř shodný. Dokument COST využívá k posouzení kritérií přijetí a odmítnutí navíc grafického znázornění.

#### **COST kap. 10.2 a I-8 (Appendix I) ASTM kap. 7**

Z výše uvedeného porovnání je zřejmé, že americký předpis ASTM je oproti dokumentu COST poněkud vytrvalejší a časem a praxí prověřenou normou. Požadavky stanovené v některých bodech předpisu jsou tvrdší a taxativně určují tolerance a další vlastnosti systému. Rozsah datových výstupů a vstupů je přesně vymezen pro každý typ systému podle oblasti jeho použití.

Předpis ASTM rovněž jednoznačně určuje povinnosti dodavatele a provozovatele WIM systému z hlediska vytvoření a udržení podmínek pro zachování dlouhodobé přesnosti a spolehlivosti. Tento přístup je jednak dobrým vodítkem pro obě strany při tvorbě požadavků na systém v průběhu kontrakčních jednání a zároveň přenáší část zodpovědnosti za správnou funkci systému na provozovatele, který (na rozdíl od dodavatele) má zpravidla lepší přístup k technickým prostředkům pro údržbu vozovky.

V konkurenčním prostředí mají jednotliví producenti WIM systémů předpisem ASTM přesně stanovené požadavky, které musí WIM systémy příslušných typů splňovat, aby mohly být typově schváleny. Rozhodnutí odběratele při výběru dodavatele pak může být ovlivněno pouze dalšími vlastnostmi systému (pořizovací náklady, náklady na údržbu, rozsah a kvalita nadstavbového software aj.), které nemají dopad na správnost vážení a měření.

Předpis COST, jak bylo již výše uvedeno, vychází z doporučení členských států COST 323 a ve velké míře čerpá z řady stávajících amerických předpisů, zejména ze srovnávaného ASTM E 1318. Zřejmě vzhledem k rozdílným požadavkům jednotlivých členských států EU při tvorbě tohoto předpisu a kvůli odlišným přírodním podmínkám má předpis COST v řadě témat pouze doporučující charakter a v některých kvalitativních parametrech umožňuje využití širšího tolerančního pásma. Některé vlastnosti systému lze stanovit vzájemnou dohodou mezi odběratelem a dodavatelem, a to i v těch případech, které předpis ASTM jednoznačně určuje.

Obecně lze říci, že v žádném z obou porovnávaných dokumentů nejsou specifikovány metrologické a technické požadavky, které by zásadně vzájemně kolidovaly. WIM systém příslušného typu, schválený pro jeden z okruhů použití v USA podle předpisu ASTM, by měl při dodržení okolních podmínek podle COST vyhovět i v Evropě při zkoušení podle COST. A naopak WIM systém příslušného typu, schválený pro jeden z okruhů použití v Evropě podle předpisu COST, by měl po doplnění požadovaných vstupních a výstupních údajů a při dodržení okolních podmínek podle ASTM vyhovět i v USA při zkoušení podle ASTM.

Dokument ASTM má charakter normativního předpisu a dokument COST má více charakter doporučení. Při tvorbě předpisu COST se evidentně vycházelo ze zpracování velkého množství dat z různých participujících zemí a jejich statistického vyhodnocení.

#### **Závěrem k OIML R 134 (2006)**

Mezinárodní doporučení OIML R134, vydané v roce 2006, obsahuje v současné podobě technické a metrologické požadavky na zařízení, respektive váhy pracující v automatickém režimu, které jsou určeny pro vážení silničních vozidel za pohybu, tedy pro určení celkové hmotnosti vozidla, zatížení na nápravu a (tam, kde je to aplikovatelné) zatížení na skupinu náprav. Dále toto doporučení stanoví standardizované požadavky a zkušební postupy pro posouzení metrologických a technických vlastností takovýchto zařízení jednotným způsobem s metrologickou návazností.

I když to není explicitně specifikováno, cílí současné znění na aplikace použitelné za relativně malých rychlostí přejezdu vážených vozidel a na aplikace, které jsou umístěny mimo dopravní proud. Protože současný trend jak v Evropě, tak i ve světě vyžaduje použití takovýchto vah i pro účely tzv. „law enforcement“, což je vymáhání poplatků a pokut za nadlimitní přetížení silničních vozidel, které ve velké míře způsobuje poškozování silniční infrastruktury, bylo v rámci pracovních skupin OIML pro automatické váhy TC9/SC2 přikročeno k revizi tohoto doporučení s cílem rozšířit jeho použití i pro aplikace instalované přímo v dopravním proudu se schopností určovat hmotnosti parametry silničních vozidel i za relativně vysokých rychlostí s dostatečnou přesností.

Oborná veřejnost v této oblasti tuto aktivitu velmi vítá, protože prozatím jsou takovéto systémy posuzovány v rámci národních legislativ a nejednotným způsobem. Podle garancí této revize se očekává její vydání nejpozději v roce 2026.



## METODIKY MĚŘENÍ NĚKDY I MALÉ ÚPRAVY MAJÍ VELKÉ PŘÍNOSY

**Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.**

Článek zlehčenou formou ukazuje na několika příkladech z praxe, jak i zdánlivé detaily mohou ovlivnit celý výsledek měření.

Při každé práci musíme vědět, **co** děláme, **čím** to děláme a **jak** to děláme. **Jak to děláme**, bývá obsahem pracovních postupů a metodik měření, nebo jinak řečeno, metodiky měření jsou velmi důležitou součástí každého měření. Bez správné metody a bez dobré metodiky nemůže být ani výsledek dobrý. Metrologové se mezi sebou vzájemně chovají jako skvělá komunita, která neodsuzuje metodiky jiných, pokud nejsou ideální. Zkušený metrolog dokáže vždy méně vybavené laboratoři i pracovníkům s menší praxí dobře poradit bez toho, aby naznačil svou vyšší úroveň nebo nadřazenost. To se netýká obecně ostatních oborů mimo oblast metrologie.

### Příklad 1

#### Práce pod dozorem



**Obr. 1:** Osvojení kalibrační metody novým pracovníkem je obvykle správně založeno na práci pod dozorem zkušeného a prověřeného pracovníka.

Práce pod dozorem je základem k osvojení každé metodiky. V České republice pracovala kalibrační laboratoř, která měla velmi rozvinutý systém závěru pod dozorem. Nechtěným výsledkem ale bylo, že pro některé speciální typy kalibrací nikdy nebyl dosažen dostatečný počet kalibrací a výsledkem pak nechtěně bylo, že tyto kalibrace byl oprávněn provádět stále jen jeden pracovník – původní školitel.

### Příklad 2

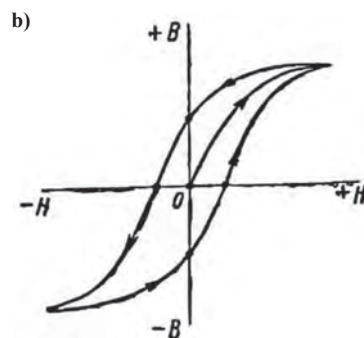
#### Uvádění výsledků – příklad podle tzv. paper audit EAL

Evropská akreditace v době organizačního přechodu od Západoevropské kalibrační kooperace (WECC) k Evropské akreditaci laboratoří (EAL) a v době prvního širšího zavádění kalibračních listů provedla první mezilaboratorní porovnání. Úkolem porovnání nebylo prověřit správnost měření, ale správnost zpracování a úplnost a správnost provedení kalibračních listů ze zadaných dat. Porovnání je známé pod

označením „paper audit“. Zadány byly výsledky měření etalonu kapacity s otočným kondenzátorem (Genrad 1422) pro postupné zvyšování a následně postupné snižování nastavené kapacity. Úkolem účastníků bylo správně zpracovat kalibrační list podle postupu obvyklého v dané laboratoři. Toto ve své době velmi populární porovnání, s účastníky z celého světa, narazilo až při vyhodnocování výsledků na problém: nebylo totiž konkrétně zadáno, jak hodnotit hysterezi, takže obě základní možnosti hodnocení musely být uznány jako správné a rovnocenné. Trvalo ještě několik let, než se dohodlo jednotné hodnocení.



**Obr. 2: a)** Nejprve musíte vědět, co chcete změřit a jak se to má v kalibračním listu popsat. V porovnání EAL nazývaném „paper audit“ byly dvě správné možnosti, jak popsat výsledek, ale nebylo zadáno, které vyjádření se má v kalibračním listu použít.

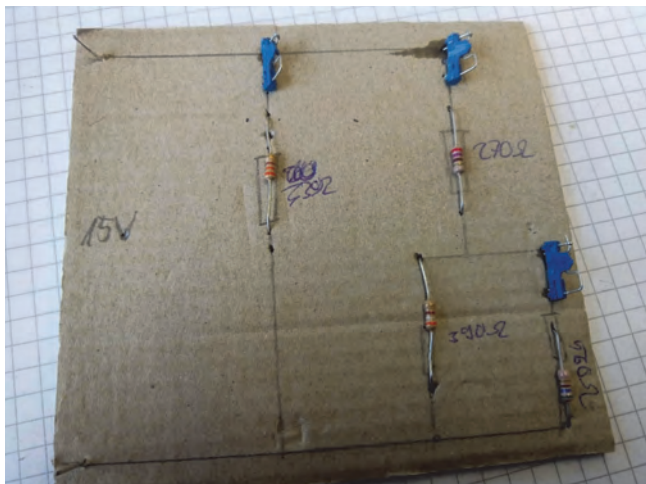


**Obr. 2: b)** Řada měřených veličin se vyznačuje hysterezi. Naměřená hodnota se liší podle toho, jestli jsme měřili při zvyšování nebo při snižování hodnoty měřené veličiny, možnost je i uvést průměr a hysterezi počítat do nejistoty.

### Příklad 3

#### Dokumentace propojení úlohy

V šedesátých letech minulého století se často používala v metrologii elektro velmi složitá zapojení s přesnými poměrovými transformátory. Tehdy ještě nebyl dostatek přístrojů na to, aby vyladěné a odzkoušené spojení mohlo zůstat nastálo propojené, a ani ještě neexistovaly digitální fotoaparáty k zdokumentování detailů metody zapojení. Tehdy jsem navštívil národní nizozemskou metrologickou laboratoř v Delftu. Potřebovali jsme měřit ve velmi složitém speciálním zapojení s transformátorovými mosty. Překvapilo mne, když mladý pracovník předvádějící měření vytáhl najednou velikou lepenku, kterou měl schovanou za skříní, a na té lepence z krabice od nějakého přístroje bylo fixem namalováno, kde má být položen který přístroj a s kterým dalším přístrojem má být čím a jak propojen. Tím byl problém opětovného sestavení a oživení zapojení vyřešen velmi rychle a správně.



**Obr. 3:** U méně často se opakujících měření, která vyžadují znovu přesné složit někdy i složitá pracoviště, se mimo fotografii uplatní i jednoduché šablony, například z vlnité lepenky, ukazující přesnou polohu všech přístrojů i kabelů (na obrázku jsou místo přístrojů užity jako příklad jen součástky).

#### Příklad 4 Odstranění parazitních rušivých signálů pomocí koaxiální tlumivky

V šedesátých letech minulého století se často používala v metrologii elektro velmi složitá zapojení s přesnými poměrovými transformátory pro extrémně přesné stanovení poměru  $n_f$  střídavého napětí nebo poměru  $n_f$  střídavého proudu. Zjednodušeně, vedeme-li požadovaný signál dvojicí vodičů, je signál v obou vodičích až na polaritu stejný. Pokud se signály liší, máme problém s parazitním signálem. Pokud vytvoříme s dvojicí signálních vodičů koaxiální tlumivku (tzv. choke), u užitečného signálu se působení signálu v obou vodičích vyruší, pro parazitní signál je impedance vložené tlumivky (choke) překážkou k jeho šíření.



**Obr. 4:** Koaxiální tlumivka (choke) je malý zázrak v boji proti rušení. Užitečný signál procházející tlumivkou dvěma vodiči tlumivku nevidí (jde jedním tam a druhým zpět), rušícímu (souřadovému) signálu klade tlumivka překážku.

Experimentální kontrola určení, kde je užití choke nutné, a ukázka potlačení parazitních signálů pomocí koaxiální tlumivky je extrémně jednoduchá.

Nejprve vložíme koaxiální tlumivky do všech vedení, všude, kde je to možné.

Postupně porovnáme vliv pro každou tlumivku. Pokud se po odstranění tlumivky nic nezmění, byla na daném místě zbytečná a nepoužijeme ji.

*Poznámka: choke jsou pro zabezpečení odolnosti EMC velmi široce používány v moderních přístrojích, ale jsou ve stavěné a obsluha o nich neví.*

#### Příklad 5 Zpřesnění měření velkého odporu

Když se v metrologii velmi přesně měří velmi vysoké hodnoty odporu (nad cca  $100\text{ M}\Omega$ ), je měření ovlivněno mimo jiné nejen klimatizací, ale projeví se i přítomnost a pohyby pracovníka, který provádí měření. Někdy pomáhá měřit automatizovaně a ovládat měření na dálku, bez přítomnosti pracovníka v místě měření. To však může být nepraktické. Často je jednodušší udělat si pro zapojení, ve kterém je měřený odpor, ještě velkou kovovou uzemněnou krabicí (Faradovu klec), obvykle ještě vyloženou deskami z pěnového polystyrenu, která odstraní vnější rušivé signály a zlepší teplotní stabilitu prostředí při měření.

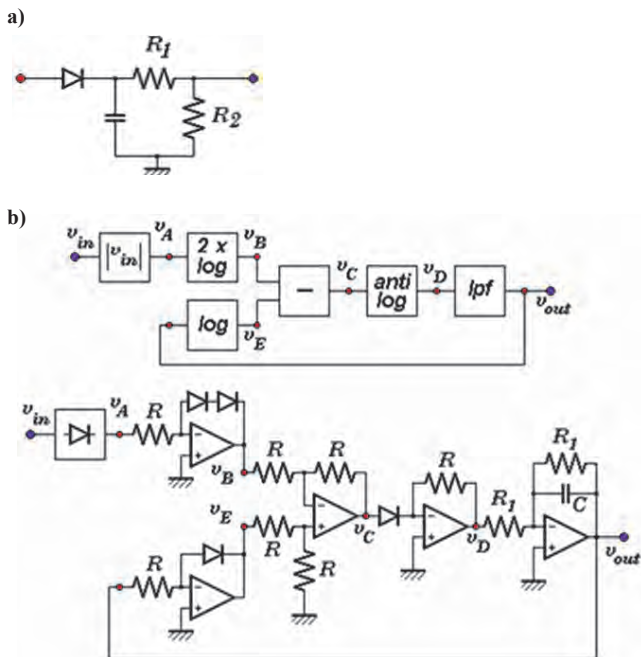


**Obr. 5:** Pomocný stínící a tepelně izolační box zpřesní a usnadní měření

#### Příklad 6 Efektivní a střední hodnota měřeného signálu

U harmonického signálu je jeho efektivní hodnota  $0,707 U_{\max}$  a střední hodnota je  $0,637 U_{\max}$ . Proto stačí při měření efektivní hodnoty připočítat k naměřené střední hodnotě 11 %, a získáme tím pro čistě harmonický signál naměřenou hodnotu efektivní. Nejjednodušší střídavé voltmetry používají jednoduchý diodový usměrňovač, který udává střední nebo špičkovou hodnotu signálu. Pro měření

na začátku rozsahu ale není usměrňovač přesně lineární, proto nejjednodušší digitální multimetry nemívají pro střídavé napětí rozsah menší než 200 V.



Obr. 6: a) Ukázka, jak jednoduchá je úprava usměrňovače pro měření efektivní hodnoty harmonického napětí špičkovým usměrňovačem. Obr. 6: b) Ukázka, jak poměrně složitá je funkce a provedení jednoho ze základních principiálních zapojení multimetru ve funkci měření efektivní hodnoty střídavého signálu.

**Příklad 7**  
Zpřesnění měření efektivní hodnoty napětí termoelektrickými převodníky

Když se v metrologii velmi přesně měří efektivní hodnota napětí, nemělo by na výkon ztracený v měřicím termočlátku mít vliv kolísání teploty v okolí v laboratoři, kde se vyskytuje vždy nějaké proudění a s tím související kolísání teploty vzduchu. My jsme byli jednou po setkání ve Španělsku na exkurzi elektro skupiny evropské akreditace (EAL DC/LF group) v laboratoři, kde mladá vědkyně měla úžasně krásně zpracovanou metodiku a sestavené velmi vyspělé pracoviště. Když se na to podíval význačný švédský metrolog, měl jen jednu malou a jednoduchou radu. Termočláanky schovejte pod lepenkovou krabici z nějakého starého přístroje, pak na ně nebude mít možnost při měření foukat klimatizace a získáte tím podstatné zpřesnění měření. Při tom je ale nutné, aby se výkon, vzniklý při měření, mohl rozptýlit, proto má být jednoduše užitá lepenka ze staré krabice z e-shopu, ne dokonalejší izolace.

Když se v metrologii velmi přesně měří efektivní hodnota napětí na obvykle používaném nejvyšším rozsahu, který bývá až do 1000 V, používají se termopřevodníky pro proud 10 mA. Výkon ztracený v měřicím a předřadném odporu termočláanky je pak pro měřených 1000 V rovna 10 W, což způsobuje velký ohřev a mimořádné požadavky na provedení a vlastnosti předřadného odporu. Je nutné dlouhé ustalování měření vlivem zvýšení teploty výkonem, ztraceným na předřadníku. Při kvalitní klimatizaci

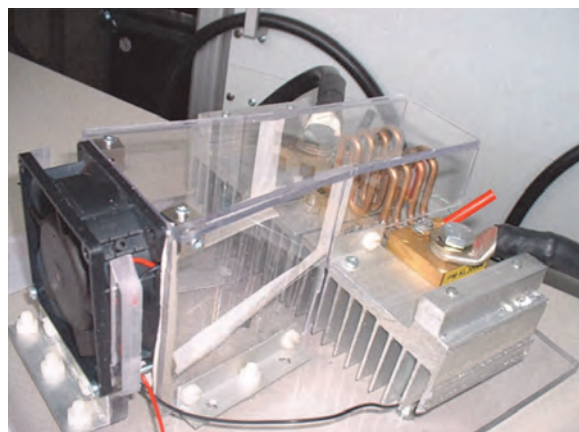


v laboratoři je výhodnější snížit ohřev v předřadném odporu termočláanky nuceným větráním s použitím ventilátorů, jaké se používají v počítačích.

Obr. 7: Předřadný odpor pro přesná měření je někdy i rozměrné zařízení.

**Příklad 8**  
Zpřesnění měření velkého proudu

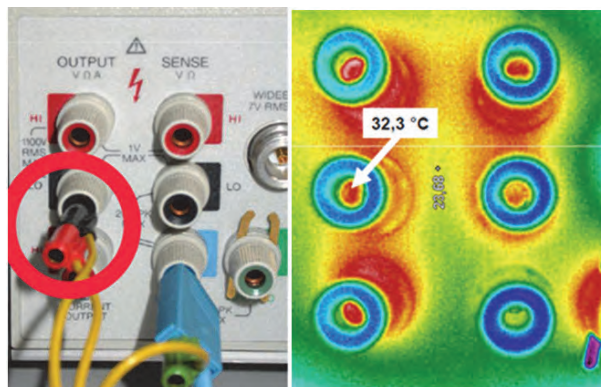
Když se v metrologii velmi přesně měří vysoké hodnoty proudu (cca 100 A a více), je často výhodné snížit ohřev bočnicku proudem vzduchu. Často stačí užití ventilátoru, obvykle užívaného v počítačích.



Obr. 8: Jednoduchý přípravek s ventilátorem z počítače zpřesní a zkrátí měření nebo i zvýší měřený rozsah při měření proudu.

**Příklad 9**  
Teplota v laboratoři a teplota v kritické části měření

Teplota v laboratoři a teplota v kritické části měření není totéž. Je nutné věnovat pozornost důležitým a citlivým částem, mezi které většinou patří i konektory z propojení měřeného nebo generovaného signálu.



Obr. 9: Obrázek ukazuje, jak se liší teplota v laboratoři (která byla v tomto případě 23,2 °C) od teploty výstupní svorky použitého kalibrátoru, která byla o 9,1 °C vyšší, a proto je nutné s ní počítat (vlevo je pohled na svorky kalibrátoru, vpravo je pohled na stejné svorky termokamerou).

## Příklad 10

### Není zkreslení jako zkreslení

Nelineární zkreslení ukazuje, jak se signál tvarově liší od ideální sinusovky.

Podle IEV ref 551-17-06 (slovník IEV) je THD poměr efektivní hodnoty vyšších složek signálu k efektivní hodnotě základní harmonické.

Podle IEV ref 551-17-05 (slovník IEV) je THF poměr efektivní hodnoty vyšších složek signálu k efektivní hodnotě celého měřeného signálu.

Pro energetiku je převažující a vhodnější použití definice zkreslení THD. THD může nabývat hodnot od nuly do nekonečna, obvykle se vyjadřuje v %.

Pro nízké hodnoty zkreslení se výsledek měření vyjádřený jako THD nebo THF příliš neliší.

Pro zkreslení THD < 5 % je rozdíl mezi  $/(THF - THD)/ < 0,01$  %.

Pro THD 10 % je hodnota THF 9,95 %. To je nejvyšší hodnota, používaná pro měření vlastností elektroakustického signálu, a rozdíl mezi oběma definicemi není podstatný.

Tab. 1: porovnání hodnot zkreslení měřeného podle definice THD a THF

THD v %	THF v %
0,01	0,01
0,1	0,1
10	9,95
20	19,6
30	28,7
50	44,7

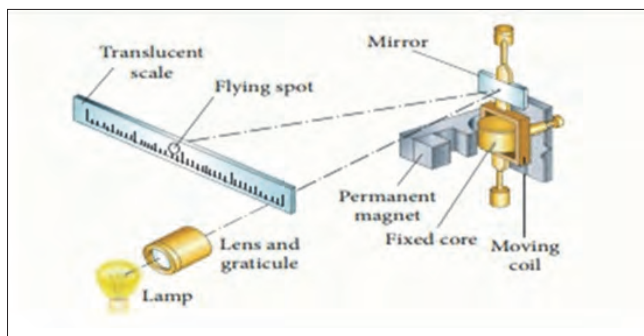
Zkreslení udávané jako THD nebo THF se pro nižší naměřené hodnoty od sebe podstatně neliší, jak ukazuje tabulka.

## Příklad 11

### Zpřesnění měření analogovými přístroji



V době, kdy ještě nebyly dostupné digitální přístroje, hledala se opatření, jak zvýšit přesnost



Obr. 10: Analogový přístroj má mít pro zvýšení přesnosti úzkou ručku a stupnici podloženou zrcátkem, aby se předešlo nesprávnému úhlu pohledu při odečítání a co nejdelší stupnici. Dlouhou stupnici získáme i promítáním odrazu z zrcátka na měřidlo.

měření. Jednou z možností je co nejdelší ručka analogového přístroje a co nejmenší, tzv. nožové zakončení ručky. Ručku lze jednoduše prodloužit promítáním světelného ukazatele (tzv. prasátka) přes otočné zrcátko. Ti, kdo chodili do školy před 50 a více lety, si vzpomenou, jak jsme v laboratoři napjatě sledovali, kam až na protější stěnu laboratoře se prasátko promítlo, než vyučující zjistí, že něco nebylo správně nastaveno. Nožovou ručku zase vyráběli výrobci měřidel utajeným postupem z pavučiny.

## Příklad 12

### Vstupní konektor přístroje

Vstupní konektor měřidla slouží jen pro měření a **nesmí na něm viset sonda** nebo celé měřidlo. Pro kalibrační laboratoř jsou důležité hlavně koaxiální konektory. Zjednodušeně platí, že čím rozměrově menší je typ konektoru, tím větší je jeho frekvenční rozsah, ale i vyšší pořizovací cena konektoru.



Obr. 11: Vstupní konektor slouží jen pro měření a nesmí na něm nikdy viset sonda nebo celé měřidlo.

**Oddělovací konektor** (connector saver) je prostředek možné ochrany drahého přístroje před porušením, zejména připojením nedokonalého zákaznickova konektoru. Oddělovací konektor nasazený na vstupní konektor, hlavně při vysokofrekvenčním měření, je možné použít v kalibrační laboratoři tam, kde by mohl zákazníkův konektor s defektem omylem poškodit drahý přístroj (etalon laboratoře) a případná potřebná oprava potom spočívá jen ve výměně oddělovacího konektoru, místo demontáže a opravy celého přístroje.



Obr. 12: Příklad provedení oddělovacího konektoru (connector saver), který je možné nasadit na vstupní konektor v kalibrační laboratoři tam, kde by mohl zákazníkův konektor s defektem omylem poškodit drahý přístroj (etalon).

## Závěr

Článek měl připomenout některé jednoduché a náhodně vybrané příklady z běžné laboratorní praxe. Drobné úpravy jsou často velmi jednoduché a levné, ale mohou podstatně zlepšit metodiku a výsledky měření. Dá se to parafrázovat i tak, že za málo peněz je někdy možné získat hodně muziky.

# KVADRIFILÁRNÍ ODPOROVÉ ETALONY S VYPOČITATELNÝMI KMITOČTOVÝMI ZÁVISLOSTMI

**Prof. Ing. Jaroslav Boháček, DrSc.**  
**Ing. Martin Šimůnek**

*České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická*

## 1. Úvod

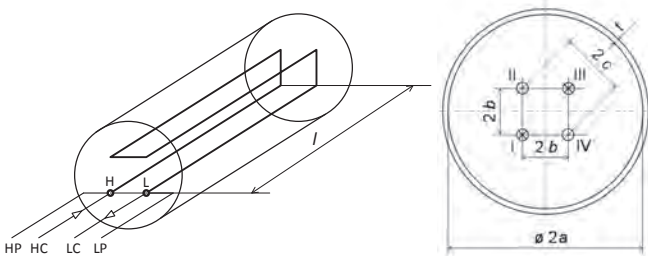
Při přesných měřeních elektrických veličin nalézají uplatnění etalony jednoduchého provedení, u nichž lze kmitočtové závislosti jejich hodnot počítat s dostatečnou přesností přímo z jejich konstrukčních parametrů. Nejběžnější jsou koaxiální etalony s odporovým elementem tvořeným odporovým drátem kruhového průřezu, napnutým v ose vodivého válcového pláště. Nevýhodou těchto etalonů však je, že pro vyšší ohmické hodnoty vycházejí poměrně dlouhé, zvláště pokud při jejich konstrukci nelze použít velmi tenkých odporových drátů (např. má-li být dosaženo větší proudové zatížitelnosti etalonu). Kompaktnější etalony s odporovým elementem menší délky přitom lze jednoduše získat několikanásobným přeložením použitého drátu.

Tento příspěvek je zaměřen na výpočty kmitočtových závislostí tzv. kvadrifilárních etalonů, jejichž odporové elementy mají tvar přeložené dlouhé smyčky umístěné ve válcovém stínícím krytu (obr. 1). Z příčného řezu kvadrifilárního etalonu na obr. 2 je patrné, jakým způsobem je odporový drát veden uvnitř stínění (tečkami a křížky jsou vyznačeny směry průchodu proudu drátem). Pokud je prostřednictvím stíněných přívodů připojených k bodům H a L etalon připojen ke konektorům HP, HC, LP a LC čtyřpárového měřiče LCR pracujícího v režimu měření paralelního ekvivalentního odporu, výsledkem měření je

$$R_p = \{ \text{Re} [ I_L / U_{HL} ] \}^{-1} \quad (1)$$

kde  $I_L$  je proud tekoucí přívodem ke konektoru LC a  $U_{HL}$  je napětí mezi body H a L v situaci, kdy stínění etalonu a bod L jsou na nulovém potenciálu.

Hlavními příčinami kmitočtové závislosti odporu  $R_p$



**Obr. 1:** Odporový element v stínícím krytu **Obr. 2:** Příčný řez etalonem

jsou jednak parazitní indukčnosti a kapacity etalonu, jednak vířivé proudy indukované do jeho vodivých částí.

## 2. Vliv parazitních indukčností a kapacit

Pokud se při vyhodnocování vlivu parazitních indukčností a kapacit na etalon pohlíží jako na dlouhé vedení s rovnoměrně rozloženými parametry [1], pro jeho paralelní ekvivalentní odpor vychází

$$R_p \doteq R \left\{ 1 + \frac{\omega^2}{R^2} (L - 8M_1 + 4M_2)^2 + \frac{\omega^2 R^2}{11520} [240C_0^2 - 15(C_0 + 8C_1 + 8C_2)^2 - (C_0 + 16C_1)^2] \right\} = R(1 + \delta_1) \quad (2)$$

kde je  $\omega$  úhlový kmitočet,  
 $R$  odpor odporového drátu,  
 $L$  vlastní indukčnost drátu,  
 $M_1$  vzájemná indukčnost mezi dvěma sousedními úseky drátu (např. mezi I a II nebo I a IV, viz obr. 2),  
 $M_2$  vzájemná indukčnost mezi dvěma diagonálně položenými úseky drátu (např. mezi I a III),  
 $C_0$  kapacita mezi drátem a stíněním,  
 $C_1, C_2$  příp.  $C_2$  kapacita mezi dvěma vedle sebe, příp. diagonálně položenými úseky drátu a

$$\delta_1 \doteq \frac{\omega^2}{R^2} (L - 8M_1 + 4M_2)^2 + \frac{\omega^2 R^2}{11520} [240C_0^2 - 15(C_0 + 8C_1 + 8C_2)^2 - (C_0 + 16C_1)^2] \quad (3)$$

poměrná odchylka odporu  $R_p$  od odporu  $R$  způsobená parazitními indukčnostmi a kapacitami.

Časová konstanta etalonu je

$$\tau \doteq \frac{1}{R} (L - 8M_1 + 4M_2) - \frac{R}{6} (5C_1 + 3C_2 - C_0) \quad (4)$$

Pro výpočet parazitních indukčností z rozměrů vyznačených na obr. 1 a 2 se použijí vztahy [2]

$$L \doteq \frac{2\mu_0}{\pi} l \left( \ln \frac{2l}{r} - 1 + \frac{\mu_1}{4} \right) \quad (5)$$

$$M_1 \doteq \frac{\mu_0}{2\pi} l \left[ \ln \frac{l}{c} - 1 + \frac{2c}{l} - \frac{1}{4} \left( \frac{2c}{l} \right)^2 \right] \quad (6)$$

$$M_2 \doteq \frac{\mu_0}{2\pi} l \left[ \ln \frac{l}{b} - 1 + \frac{2b}{l} - \frac{1}{4} \left( \frac{2b}{l} \right)^2 \right] \quad (7)$$

kde je  $r$  poloměr odporového drátu,  
 $\mu_1$  jeho poměrná permeabilita a  
 $\mu_0$  permeabilita vakua.

Kapacity  $C_0, C_1$  a  $C_2$  lze vypočítat metodou kapacitních koeficientů. Platí [3]

$$C_0 = 4l \frac{1}{p_{11} + p_{12} + 2p_{13}} \quad (8)$$

$$C_1 = l \frac{p_{13}}{(p_{11} + p_{12})^2 - 4p_{13}^2} \quad (9)$$

$$C_2 = l \frac{p_{12}(p_{11} + p_{12}) - 2p_{13}^2}{(p_{11} - p_{12})[(p_{11} + p_{12})^2 - 4p_{13}^2]} \quad (10)$$

kde potenciálové koeficienty  $p_{11}$ ,  $p_{12}$  a  $p_{13}$  mají tvar

$$p_{11} = \frac{1}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \ln \frac{a^2 - b^2}{ar} \quad (11)$$

$$p_{12} = \frac{1}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \ln \frac{a^2 + b^2}{2ab} \quad (12)$$

$$p_{13} = \frac{1}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \ln \frac{\sqrt{a^4 + b^4}}{2ac} \quad (13)$$

Ve vztazích (11) až (13) je  $\epsilon$  poměrná permitivita prostředí obklopujícího odporový drát (pro vzduch  $\epsilon = 1$ ) a  $\epsilon_0$  je permitivita vakua.

### 3. Vliv vířivých proudů

Na kmitočtové závislosti hodnoty etalonu se dále podílejí vířivé proudy indukované při průchodu proudu etalonem do jeho vodivých částí [1]. Pro poměrnou odchylku odporu, který drát vykazuje při úhlovém kmitočtu  $\omega$ , od jeho odporu pro stejnosměrný proud přitom platí

$$\delta_2 = \frac{R - R_0}{R_0} = \delta_{21} + \delta_{22} \quad (14)$$

kde je  $\delta_{21}$  složka odpovídající vlivu vířivých proudů indukovaných do samotného odporového drátu a  $\delta_{22}$  složka odpovídající vlivu vířivých proudů indukovaných do stínícího krytu. Pro složky  $\delta_{21}$  a  $\delta_{22}$  platí

$$\delta_{21} \doteq \frac{1}{192} \omega^2 \left( \frac{\mu_1 \mu_0 r^2}{\rho_1} \right)^2 \quad (15)$$

$$\delta_{22} \doteq \frac{8\mu_0}{\pi} \frac{m\omega}{R_0 / l} \frac{1}{4 + m^2} \left( \frac{b}{a} \right)^4 \quad (16)$$

$$\text{kde } m = \frac{\omega \mu_2 \mu_0 a t}{2\rho_2},$$

$\rho_1$ , příp.  $\rho_2$  je rezistivita drátu, příp. stínícího krytu,  $\mu_1$ , příp.  $\mu_2$  poměrná permeabilita drátu, příp. stínícího krytu,  $r$  poloměr drátu a  $a$ ,  $b$ ,  $t$ ,  $l$  jsou rozměry, jejichž význam je patrný z obr. 1 a 2.

Poměrná odchylka odporu  $R_p$  od odporu  $R_0$  způsobená jak parazitními indukčnostmi a kapacitami etalonu, tak vířivými proudy, je

$$\delta = \frac{R_p - R_0}{R_0} \doteq \delta_1 + \delta_2 \quad (17)$$

Tato odchylka bývá též označována jako AC/DC diference paralelního ekvivalentního odporu etalonu.

### 4. Nejistoty vypočtených hodnot

Hlavními zdroji nejistot vypočtených hodnot  $\delta$  a  $\tau$  jsou odchylky při výpočtech použitých hodnot jednotlivých konstrukčních parametrů etalonu od jejich hodnot skutečných. Označme  $z_j$  použitou hodnotu  $j$ -tého parametru a předpokládejme, že její odchylka od hodnoty skutečné nevybočí z intervalu

$$\langle -\Delta z_{j\max}, \Delta z_{j\max} \rangle \quad (18)$$

v němž má její hustota pravděpodobnosti rovnoměrné rozdělení. Hodnota  $z_j$  pak má standardní nejistotu [4]

$$u(z_j) = \frac{\Delta z_{j\max}}{\sqrt{3}} \quad (19)$$

kteřá přispívá ke standardní nejistotě vypočtené hodnoty  $\delta$  složkou

$$u_{z_j}(\delta) = A_{\delta, z_j} u(z_j) \quad (20)$$

Ve vztahu (20) je  $A_{\delta, z_j}$  citlivostní koeficient, který lze přibližně stanovit jako poměr změny hodnoty  $\delta$  vyvolané definovanou změnou hodnoty  $z_j$  za předpokladu, že hodnoty ostatních konstrukčních parametrů se nemění. Např.

$$A_{\delta, z_j} \approx \frac{\delta_{1,1z_j} - \delta_{0,9z_j}}{1,1z_j - 0,9z_j} = 5 \frac{\delta_{1,1z_j} - \delta_{0,9z_j}}{z_j} \quad (21)$$

Pro celkovou standardní nejistotu vypočtené hodnoty  $\delta$  platí

$$u(\delta) = \sqrt{\sum_j A_{\delta, z_j}^2 u^2(z_j)} = \sqrt{\sum_j u_{z_j}^2(\delta)} \quad (22)$$

Obdobným způsobem se stanoví standardní nejistota vypočtené hodnoty  $\tau$ .

### 5. Závěr

Výpočty kmitočtových charakteristik kvadrifilárních etalonů a jejich nejistot se na katedře měření FEL ČVUT provádějí zpravidla pomocí tabulkového procesoru Microsoft Excel. S výhodou se přitom využívá aplikace pro práci s příslušnými excelovými listy vytvořené na katedře při řešení úkolu Programu rozvoje metrologie č. VIII/16/22.

### Literatura

- [1] Gibbings D. L. H.: A Design for Resistors of Calculable A.C./D.C. Resistance Ratio. Proc. IEE, 1963, sv. 110, č. 2, str. 318 - 347.
- [2] Grover F. W.: Inductance Calculations: Working Formulas and Tables. Dover Phoenix Edition 2004, ISBN 0 4876 495779.
- [3] Boháček J., Fajt V.: Measurement of Power Factors of Standard Capacitors. IEEE Trans. Instr. Meas., 1980, sv. IM-29, č. 4, str. 367 - 369.
- [4] Boháček J.: Metrologie, 3. přepracované vydání. Česká technika - nakladatelství ČVUT, Praha 2019, ISBN 978-80-01-06612-6.

## ALPHAMET: METROLOGIE PRO NOVÉ CÍLENÉ ALFA TERAPIE

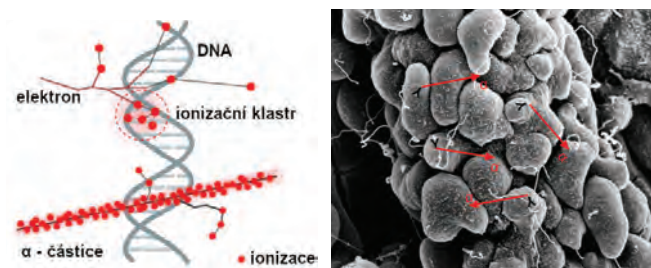
Ing. Jan Rusňák, Ph.D.

Český metrologický institut

Cílená alfa terapie (TAT) je rychle se rozvíjející metoda léčby rakoviny, při níž jsou radiofarmaka vyzařující alfa záření navázána na chemickou látku, která se selektivně váže na nádorové buňky, díky čemuž dochází k přesnému ozáření nádoru a zároveň je minimalizováno ozáření zdravých tkání. V současné době má v EU regulační schválení pouze jediný radionuklid -  $^{223}\text{RaCl}_2$ , ale jeho úspěch vedl k nebyvalému zájmu a investicím do TAT u různých druhů rakoviny. V klinických studiích vykazuje slibnou účinnost a delší přežití, nicméně překážkou pro umožnění bezpečného a optimalizovaného provádění nových cílených alfa terapií zůstává několik nesplněných a jedinečných výzev v oblasti měření. Evropský výzkumný projekt AlphaMet poskytne metrologii potřebnou pro zajištění metrologické návaznosti "od začátku do konce" (od měření aktivity radionuklidu po mikrodosimetrii absorbované dávky v nádoru a okolních tkáních), před širokým rutinním zavedením TAT do klinické praxe.

## Úvod

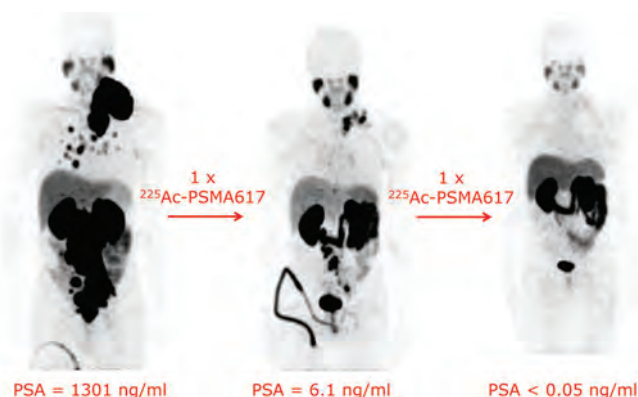
V posledním zářijovém týdnu se na půdě Fakulty jaderné a fyzikálně inženýrské ČVUT v Praze konalo úvodní setkání členů mezinárodního výzkumného projektu AlphaMet, konsorcium vedeného Českým metrologickým institutem a sestávajícího z mezinárodních metrologických institutů, nemocnic, klinických a preklinických center a dalších výzkumných institucí zaměřujících se na vývoj nových léčebných metod v nukleární medicíně. Celý název projektu – Metrologie pro nové cílené alfa terapie – napovídá, že hlavním objektem výzkumu jsou radionuklidy produkující alfa částice, jež v kombinaci s molekulou vázající se na určitý antigen v nádorových buňkách (v případě rakoviny prostaty se jedná například o Prostate-specific membrane antigen (PSMA)) mohou sloužit jako cílená radiofarmaka. Emitované částice alfa v takovém případě primárně zasahují okolní nádorové buňky a díky vysoké hodnotě lineárního přenosu energie (obr. 1) tyto buňky spolehlivě zničí, zatímco krátký dosah alfa částic zajišťuje, že buňky zdravé tkáně zůstanou nezasázeny.



Obr. 1: Vlevo: Ionizační dráha elektronu a alfa částice při průletu jádrem buňky. Vpravo: Dosah alfa částic v tkáních lidského těla je srovnatelný s velikostí buňky.

Předpokládá se, že celosvětový výskyt rakoviny se do roku 2040 zvýší o 47 % a každoročně se objeví 28,4 milionu nových případů. Evropský plán pro boj proti rakovině zdůrazňuje potřebu individualizované léčby rakoviny a podporuje vývoj nových radiačních terapií, jako je cílená alfa terapie (TAT). Úspěch  $^{223}\text{RaCl}_2$ , prvního a jediného alfa radionuklidu s registrací pro léčbu pokročilého karcinomu prostaty, vedl k nebyvalému zájmu a investicím do této slibné léčebné modality, přičemž nové léčebné postupy založené na radionuklidech  $^{227}\text{Th}$ ,  $^{225}\text{Ac}$ ,  $^{212}\text{Pb}$  nebo  $^{211}\text{At}$  právě procházejí klinickými zkouškami.

Krátký dosah a vysoká energie částic alfa vykazuje slibnou účinnost léčby i u pacientů, kteří nereagují na léčbu jejich analogem vyzařujícím beta záření. Tyto výhody však přináší nové výzvy v oblasti měření, včetně nedostatku validovaných standardů primární (sekundární) aktivity, nárůstu dceřiných produktů rozpadu, separace produktů rozpadu nebo kvantifikace mikroskopického rozložení aktivit a absorbované dávky *in vivo*. O nejlepším přístupu k poskytování TAT se vedou diskuse a nejsou k dispozici pokyny pro správnou praxi, přičemž léčba se v současné době provádí s pevně stanovenými úrovněmi aktivity radiofarmaka a neřídí se tedy dozimetrií. To je v kontrastu s radioterapií externím ozářením, kde jsou léčebné postupy metrologicky navázány na primární standardy a nejistota dodané dávky pacientům je nižší než 5 %. Přesnost, reprodukovatelnost a nejistoty při poskytování TAT nejsou v současné době známy, přičemž nedávná zpráva ICRU 96 zdůrazňuje potřebu tento nedostatek návaznosti a standardizace řešit.



Obr. 2: Léčba rakoviny prostaty s rozsáhlými metastázemi pomocí  $^{225}\text{Ac}$ -PSMA617. Zdroj: DOI: [10.2174/1874471011666180502104524](https://doi.org/10.2174/1874471011666180502104524).

Odhaduje se, že ve více než 1 500 centrech nukleární medicíny v EU se již nyní provádí 6 milionů terapií ročně a v nadcházejících letech se očekává nebyvalý nárůst poptávky po TAT (100násobný). Je proto životně důležité umožnit klinickým pracovištím přesná měření s minimálními nejistotami, aby mohlo být zajištěno bezpečné rutinní provádění personalizované TAT, nejen kvůli splnění evropského nařízení 2013/59/Euratom a dalších předpisů, ale především pro zajištění kvalitní a bezpečné léčby pacientů.

## Cíle

Celkovým cílem projektu je řešit jedinečné a dosud neřešené metrologické problémy a výzvy cílené alfa terapie. Konkrétními úkoly jsou:

1. Vyvinout a ověřit **primární a sekundární standardy radioaktivity** s návazností na národní standardy a nízkými nejistotami, které zohledňují nárůst dceřiných produktů rozpadového řetězce a separaci produktů rozpadu pro zářiče alfa. Kromě toho je třeba posoudit požadavky na klinickou terapii a dosažitelnou přesnost klinických měření prostřednictvím vzájemného porovnání.
2. Poskytnout klinickým subjektům pokyny ke **kvantifikaci** orgánové **aktivity** pomocí externích monitorovacích systémů a zobrazovacích metod nukleární medicíny. Toho má být dosaženo: (i) vyvinutím metod pro kvantifikaci separace produktů rozpadu během zobrazování na požadovaných úrovních terapeutické aktivity a (ii) provedením srovnávacího cvičení k posouzení přesnosti, reprodukovatelnosti a kvantifikace nejistot vyvinutých metod v klinickém prostředí.
3. Stanovit **přesné dozimetrické výpočty pro alfa zářiče**, které umožní dodržet požadavky směrnice 2013/59/Euratom a posoudit skutečné vztahy mezi dávkou a odezvou. Toho má být dosaženo: (i) validací farmakokinetických modelů dozimetrie pro TAT; (ii) stanovením nejistot od naměřené aktivity k absorbované dávce, včetně identifikace hlavních faktorů ovlivňujících přesnost a preciznost pro terapie s alfa zářiči; a (iii) stanovením významu střední hodnoty dávky na tkáňové úrovni pro vysoce heterogenní distribuce alfa zářičů.
4. Stanovit **multimodální zobrazovací protokol, který zohledňuje rozdíly v hustotě kostí a členitosti kostní dřenež mezi jednotlivými pacienty na základě**: (i) **testovacího objektu** vyrobeného technologií 3D tisku, který zahrnuje příslušné tkáňově ekvivalentní materiály a geometrickou složitost pro hodnocení toxicity léčby, a (ii) dozimetrie kostní dřenež.
5. Usnadnit zavádění technologie a infrastruktury měření vyvinuté v rámci projektu dodavatelským řetězcem měření a koncovými uživateli (např. výrobci farmaceutických a zdravotnických výrobků, klinickými laboratořemi pro zajištění kvality a klinickými zúčastněnými stranami) a příslušnými organizacemi v souvislosti s nařízením (např. EANM, EFOMP, IAEA, EURADOS).

## Výzvy

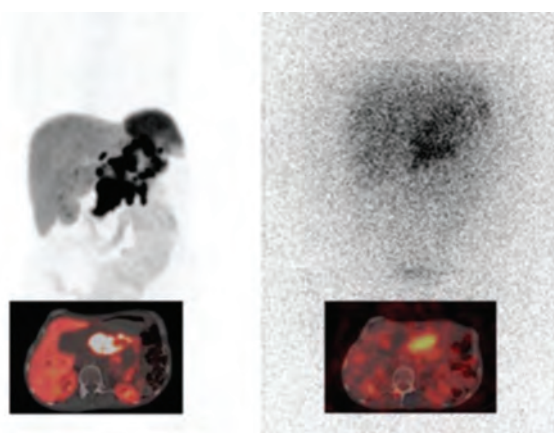
Revize sekundárních standardů pro  $^{223}\text{Ra}$  v roce 2015 ukázala 9% nesoulad s předchozími údaji a zdůraznila důležitost návaznosti na primární standardy a mezinárodní porovnávání. V rámci projektu budou vyvinuty primární a sekundární standardy pro nově se uplatňující zářiče alfa  $^{225}\text{Ac}$ ,  $^{212}\text{Pb}$  a  $^{211}\text{At}$ , aby bylo možné provádět návazná měření aktivity pro TAT v (pre) klinických centrech, nemocnicích a výrobních závodech. Robustnost standardů aktivity bude posouzena prostřednictvím mezilaboratorního porovnání a odesláním do Mezinárodního referenčního systému (SIR) Mezinárodního úřadu pro míry a váhy (BIPM). Metrologická sledovatelnost a přesnost

aktivit radionuklidů podávaných pacientům a používaných (pre)klinickými výzkumnými centry bude zlepšena prostřednictvím metrologického porovnání jednotlivých center s použitím radionuklidových kalibrátorů a gama čítačů (**obr. 3**).



Obr. 3: Gama čítač (vlevo) a radionuklidový kalibrátor (vpravo).

Kvantitativní zobrazování pomocí SPECT není pro zářiče alfa zavedeno, přičemž pro akvizici a následnou analýzu se používá řada protokolů. Tento projekt využije počítačové modely klinických skenerů SPECT validované prostřednictvím experimentálních měření na fantomech k optimalizaci akvizičních parametrů 3D zobrazování a metod kvantifikace aktivity s návazností na nově vyvinuté standardy. Vytvořené základní údaje budou použity k optimalizaci metod kvantifikace dlouhodobých dceřiných produktů rozpadu, které se mohou redistribuovat do jiných tkání, rekonstrukce obrazu a korekčních metod ke zlepšení kvality obrazu a přesnosti kvantifikace aktivity se známými nejistotami. Bude vypracován standardní protokol, který bude použit k provedení prvního multicentrického porovnání jaderného zobrazování SPECT pro alfa zářiče a který poskytne poznatky o úrovni přesnosti, reprodukovatelnosti a dosažitelných nejistotách. To poskytne podklady pro doporučení pro harmonizaci kvantitativního zobrazování po TAT a určí hlavní faktory, které ovlivňují přesnost a vyžadují další zlepšení.



Obr. 4: Kvantitativní SPECT (QSPECT) zobrazení pomocí beta zářiče  $^{68}\text{Ga}$  (vlevo) a stejné zobrazení pomocí alfa zářiče  $^{225}\text{Ac}$  (vpravo). Současné QSPECT zobrazovací metody nejsou na alfa zářiče kalibrovány a výsledný obraz je proto mnohem horší.

Schopnost kvantifikovat distribuci alfa zářičů *in vivo* umožňuje začlenit dozimetrii k optimalizaci léčby namísto použití přístupu „jedna velikost pro všechny“ s pevně



stanovenými podávanými aktivitami. Přesná dozimetrie závisí na přesné znalosti prostorového a časového rozložení aktivit a konverzních faktorů dávky. Běžně používané metody klinické (makro)dozimetrie předpokládají rovnoměrný příjem a žádnou redistribuci dceřiných produktů z mateřského radionuklidu. V rámci tohoto projektu bude vytvořen rámec pro posouzení dopadu a chyb spojených s těmito předpoklady prostřednictvím autoradiografie, farmakokinetického modelování a mikrodozimetrie pro TAT, včetně metod pro posouzení nejistot v řetězci měření aktivity na absorbovanou dávku.

Červená kostní dřev je považována za rizikový orgán omezující dávku, který může omezit podávanou aktivitu, a proto je pro bezpečnost nezbytná dozimetrie kostní dřev. Referenční modely pro dozimetrii kostní dřev jsou založeny na relativně jednoduchých modelech kostry. Rozdíly v hustotě kostí a obsahu červené a žluté kostní dřev mohou způsobit až 200 % chybu v dozimetrii červené dřev pro alfa zářiče v závislosti na místě kosti a věku, což ji činí vysoce specifickou pro pacienta. Tento projekt vyhodnotí možnosti zahrnutí morfologických měření kostní dřev specifických pro pacienta do dozimetrických výpočtů prostřednictvím vývoje speciálních fantomů a morfologických zobrazovacích protokolů založených na MR a dvouenergetickém CT zobrazování.

## Přínos

Tento projekt bude prvním mezinárodním projektem, jehož cílem je poskytnout metrologickou podporu pro stanovení nejistot měření a pro zlepšení metod kvantifikace aktivity a absorbovaných dávek radiofarmak emitujících záření alfa. Poskytnutí validovaných standardů radioaktivity pro v současné době nedostupná radiofarmaka emitující alfa záření umožní šíření návaznosti z národních metrologických institutů a poskytne přístup ke zlepšeným možnostem pro národní a akreditované laboratoře v Evropě, čímž podpoří konzistentnost možností měření aktivity. Nové normy s doporučeními pro zlepšení měření budou přínosem pro koncové uživatele, kteří se na tyto kalibrační služby spoléhají, včetně výrobců přístrojů pro měření ionizujícího záření (radionuklidové kalibrátory, gama čítače, zobrazovací skenery), zařízení na výrobu radionuklidů a farmaceutických společností.

Vývoj a translace nových TAT pro různé druhy rakoviny se rychle rozvíjí a celosvětový trh s nimi dosahuje velikosti 672 milionů USD, přičemž se očekává, že do roku 2027 vzroste o 36,7 %. Jako příklad lze uvést vysoký výskyt karcinomu prostaty, který je hlavním kandidátem na TAT, a očekává se nebývalá úroveň poptávky, přičemž v příštích letech bude potenciálně způsobilých pro léčbu  $^{225}\text{Ac}$ -PSMA 350 000 pacientů, pokud bude následovat stejný trend jako jeho analog beta-emitor  $^{177}\text{Lu}$ -PMSA. Ve Spojeném království se počet  $^{223}\text{RaCl}_2$  léčebných procedur během tří let po jeho schválení zvýšil stonásobně, což dále zdůrazňuje potenciální míru poptávky. Metrologická návaznost TAT, kterou tento projekt poskytuje, má proto velký význam pro podporu logistických a vědeckých výzev, kterým budou evropská oddělení nukleární medicíny v blízké budoucnosti čelit.

## Závěr

Zavedení metrologie na podporu vývoje a používání radiofarmak vyzařujících alfa záření hraje zásadní roli při poskytování nákladově efektivní léčby rakoviny, která zlepšuje výsledky léčby pacientů při minimální toxicitě. Lepší znalost údajů o rozpadu, metrologicky navázaná měření aktivity, jakož i harmonizované zobrazovací a dozimetrické protokoly poskytnou spolehlivé nástroje, které umožní personalizované, na dozimetrii založené plánování léčby. To je jednak vyžadováno evropskou legislativou, ale především je to prostředek, který pro pacienty znamená zvýšení bezpečnosti a efektivity jejich léčby. Výsledky rovněž nepřímo přispějí ke zvýšení důvěry v měření radiační ochrany při manipulaci s radioaktivním materiálem během poskytování TAT.

## Poděkování



Tento projekt (22HHLT03 AlphaMet) získal finanční podporu z programu European Partnership on Metrology, kofinancovaného z výzkumného programu Evropské Unie “Horizon Europe Research and Innovation Programme” a z členských států.



Konsorcium projektu AlphaMet tvoří 8 metrologických institutů a 8 akademických a klinických pracovišť napříč Evropou

# MEZILABORATORNÍ POROVNÁVACÍ ZKOUŠKY STANOVENÍ ČINITELE PROSTUPU PŘÍMÉHO SOLÁRNÍHO ZÁŘENÍ ZASKLENÍM POMOCÍ SPEKTROFOTOMETRU – POROVNÁNÍ VÝSTUPŮ ZKUŠEBNÍCH LABORATOŘÍ Z NĚKOLIKA STÁTŮ

Mgr. Václava Holušová

Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví

Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) prostřednictvím svého dotačního nástroje zvaného **Program rozvoje zkušebnictví (PRZ)** podporuje mimo jiné i účast českých zkušebních laboratoří na mezilaboratorních zkouškách výrobků. Účast v mezilaboratorních porovnávacích zkouškách je jedním z požadavků, kladených na zkušební laboratoře akreditované podle ČSN EN ISO/IEC 17025. V letech 2016 a 2017 se do takových zkoušek zapojil **IKATES, s. r. o.**, který působí jako **oznámený subjekt č. 1394** se sídlem v Teplicích a specializuje se na testování výrobků ze skla.

## Úvod

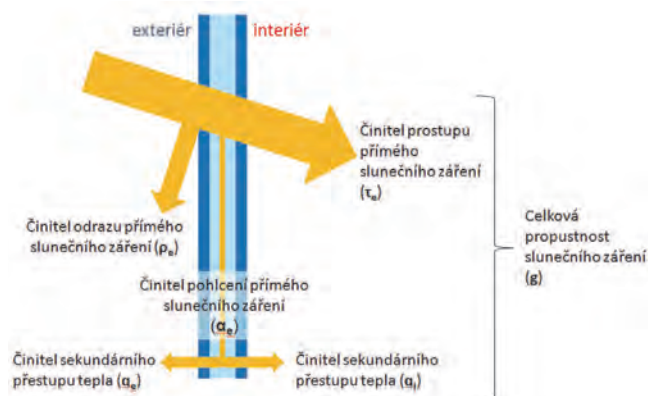
V moderním stavitelství se ve velké míře uplatňují velkoplošná zasklení, kterými do interiéru proniká solární záření. Aby bylo možné posoudit energetickou bilanci stavby s ohledem na využití solární energie, případě ochranu před přehříváním, a stanovit odpovídající výkon klimatizace, je nutné stanovit co nejpřesněji hodnotu činitele prostupu přímého solárního záření, jako nejdůležitější složky ve výpočtu solárního faktoru zasklení.

Vzhledem k tomu, že ultrafialová (UV) složka solárního záření má významný vliv na degradaci materiálů v interiéru, např. plastů, barev, dřeva atd., je v některých situacích zásadní snížit vstup UV záření na minimum. Je to případ zejména muzeálních expozic nebo výkladních skříní obchodů. Jsou však i situace, kdy je naopak cílem dosáhnout co nejvyšší hodnoty prostupu UV záření, například v zoologických zahradách (expozice plazů) nebo v botanických

zahradách (skleníky s tropickými rostlinami). Aby bylo možné posoudit, zda má zasklení dostatečný útlum prostupu UV záření nebo naopak dostatečnou propustnost, je nutné stanovit co nejpřesněji hodnotu činitele prostupu UV složky solárního záření.

**Propustnost (transmittance)** vyjadřuje míru schopnosti tělesa propouštět optické záření.

**Činitel prostupu záření  $\tau_e$**  (tau e) nabývá hodnot 0 až 100 % neboli 0 (žádný vstup) až 1 (úplný vstup).



Činitel prostupu přímého slunečního záření  $\tau_e$  zasklení se vypočte pomocí následující rovnice:

$$\tau_e = \frac{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_\lambda \tau(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_\lambda \Delta\lambda}$$

kde

$S_\lambda$  je poměrné spektrální rozdělení slunečního záření

$\tau(\lambda)$  spektrální činitel prostupu zasklení

$\Delta\lambda$  interval vlnových délek

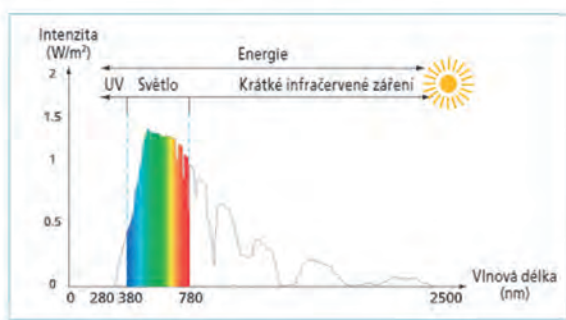
Spektrofotometrie je analytická metoda pro měření vlastností vzorku na základě pohlcování světla různých vlnových délek spektra. Přístroje, které umožňují vlnovou délku monochromatického světla libovolně nastavit, nebo měřit část absorpčního spektra v určitém úseku vlnových délek, se nazývají spektrofotometry.

Principiálně se spektrofotometr skládá ze čtyř částí:

- zdroj světla (halogenová žárovka, deuteriová, sodíková či xenonová výbojka)
- monochromátor (optická mřížka, integrační koule)
- oddíl, ve kterém je umístěn vzorek
- detektor (fotodioda, fotonásobič pro převod elektromagnetického záření na elektrický proud)

Spektrum slunečního záření

Typ záření	Vlnová délka (nm)	Podíl energie
UV	280 až 380	cca 5 %
Viditelné světlo	380 až 780	cca 50 %
IR	780 až 2 500	cca 45 %



V rámci řešení úkolů PRZ byla provedena měření činitele prostupu přímého solárního, resp. UV záření na různých měřicích zařízeních. Data ze zkoušek byla shromážděna a statisticky vyhodnocena.

## Mezilaboratorní porovnávací zkoušky v roce 2016

V roce 2016 byly zkoušky zaměřeny na posouzení způsobilosti zúčastněných laboratoří ke stanovení činitele prostupu přímého solárního záření  $\tau_e$  o vlnové délce 300 až 2500 nm (tj. UV B až IR B). Zkoušek se zúčastnily tři laboratoře, které jsou součástí subjektů posuzování shody (tzv. oznámených subjektů) podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011, plus jedna laboratoř výrobce skla. Každá z laboratoří zároveň použila jiný druh spektrofotometru:

- IKATES, s.r.o. – oznámený subjekt č. 1394 (přístroj Shimadzu UV-3600)
- Instytut Ceramiki i Materialow Budowlanych, oddział Kraków, Polsko - oznámený subjekt č. 1487 (přístroj Jasco V-570)
- Institut für Fenstertechnik, Německo - oznámený subjekt č. 0757 (přístroj Shimadzu UV-3102PC)
- AGC Flat Glass Czech a.s., závod Řetenice (přístroj Perkin Elmer Lambda 950).

Účastníci mezilaboratorních porovnávacích zkoušek obdrželi od organizátora 3 ks vzorků plaveného skla float grey o tloušťce 3,15 mm a rozměrech 50 x 50 mm. Vzorky byly nařezány z jedné tabule skla, očištěny, zabaleny do papíru a odeslány účastníkům porovnávacích měření.

Zkušebními laboratořím byl přiřazen kód (L1 až L4), který byl znám pouze organizátorovi a příslušné laboratoři.

Zkoušky zahrnovaly tři nezávislá měření (každý vzorek byl měřen jedenkrát). Zkušební norma: EN 410:2011 Sklo ve stavebnictví – Stanovení světelných a solárních charakteristik zasklení. Charakteristiky se stanovují pro kvaziparalelní, téměř kolmý dopad záření. Doporučená rychlost skenování: do 240 nm/min. Rozsah měření: 300 až 2500 nm.

Výsledky měření jsou uvedeny v následujících tabulkách.

### Měření činitele prostupu přímého solárního záření $\tau_e$ (%)

Tabulka 1: Výsledky činitele prostupu přímého solárního záření  $\tau_e$  (%)

Laboratoř (kód)	L1	L2	L3	L4
$\tau_e$ (%)	24,8	24,6	24,7	24,8
	24,7	24,6	24,8	24,8
	24,9	24,6	24,7	24,7

Tabulka 2: Shrnutí průměrů činitele prostupu přímého solárního záření  $\tau_e$  (%)

Laboratoř (kód)	L1	L2	L3	L4
$\tau_e$ (%)	24,8	24,6	24,7	24,8

Tabulka 3: Shrnutí měř rozptýlení

Laboratoř (kód)	L1	L2	L3	L4
$s_r$ (%)	0,10	0,00	0,06	0,06

Zkoušky byly vyhodnoceny v souladu s ČSN ISO 5725-2 Přesnost (pravdivost a preciznost) metod a výsledků měření - Část 2: Základní metoda pro stanovení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti normalizované metody měření.

### Cochranův test

pro  $n = 3$ ,  $p = 4$  (počet laboratoří) je

1% kritická hodnota  $C_{krit} = 0,864$

5% kritická hodnota  $C_{krit} = 0,768$

Tabulka 4: Cochranův test

úroveň	max. hodnota	v laboratoři	Cochranova testová statistika
1	0,10	L1	0,600

Cochranovým testem nebyla zjištěna žádná odlehlá hodnota.

### Grubbsův test

Vzhledem k počtu měřených hodnot byl proveden Grubbsův test pro jedno odlehlé pozorování:

Tabulka 5: Grubbsův test pro průměry měření

úroveň	Testová statistika		Grubbsova kritická hodnota
	jedna velká	jedna malá	
1	0,856	1,426	1,481 (5%) 1,496 (1%)

Grubbsovým testem nebyly zjištěny vybočující a ani odlehlé hodnoty.

### Stanovení konečných hodnot shodnosti

Tabulka 6: Vypočtené hodnoty  $\tau_e$ ,  $s_r$  a  $s_R$  pro měření činitele přímého prostupu solárního záření

úroveň	$p$	$\tau_e$ (%)	$s_r$ (%)	$s_R$ (%)
1	4	24,7	0,06	0,10

Na základě klasifikace způsobilosti podle parametru „z“, stanoveného jako

$$z = \frac{|X_n - X|}{\sigma_{n-1}}$$

kde při  $z < 2$  se laboratoř považuje za uspokojivou  
 $2 < z < 3$  se laboratoř považuje za méně důvěryhodnou  
 $z > 3$  se laboratoř považuje za neuspokojivou

bylo konstatováno, že zúčastněné laboratoře mají uspokojivou způsobilost.

Tabulka 7: Hodnota z

laboratoř č.	L1	L2	L3	L4
úroveň 1	0,9	1,4	0,1	0,5

Rozdíly ve výsledcích laboratoří vyplývají výhradně z možností zařízení, kdy jsou k měření použity různé

rychlosti skenování, různé šířky štěrby (zejména v oblasti infračerveného záření) a různé velikosti integračních koulí.

### Mezilaboratorní porovnávací zkoušky v roce 2017

V roce 2017 proběhly obdobné zkoušky pro záření v užším rozsahu vlnových délek, a to 300 až 380 nm (tedy v oblasti ultrafialového záření). Zkoušek se zúčastnily tři laboratoře oznámených subjektů podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011, z toho jedna laboratoř s využitím dvou různých spektrofotometrů:

- IKATES, s.r.o. – oznámený subjekt č. 1394 (přístroje Shimadzu UV-3600 a Perkin Elmer Lambda 2)
- Institut pro testování a certifikaci, a.s. - oznámený subjekt č. 1023 (přístroj Thermo Spectronic UV 550)
- Institut für Fenstertechnik, Německo - oznámený subjekt č. 0757 (přístroj Shimadzu UV-3600).

Účastníci mezilaboratorních porovnávacích zkoušek obdrželi od organizátora 3 ks vzorků plaveného skla float extra clear o tloušťce 4 mm a rozměrech 50 x 50 mm, výrobce Xinyi Glass. Vzorky byly nařezány z jedné tabule skla, očištěny, zabaleny do papíru a odeslány účastníkům porovnávacích měření. Zkušebními laboratořím byl přiřazen kód (L1 až L4), který byl znám pouze organizátorovi a příslušné laboratoři.

Průběh zkoušek byl shodný jako v předešlém roce (tedy až na odlišný rozsah měření - 300 až 380 nm, s krokem 5 nm).

Výsledky měření jsou uvedeny v následujících tabulkách.

### Měření činitele prostupu UV záření $\tau_{UV}$ (%)

Tabulka 1: Výsledky činitele prostupu UV záření  $\tau_{UV}$  (%)

Laboratoř (kód)	L1	L2	L3	L4
$\tau_{UV}$ (%)	74,4	73,6	74,5	74,7
	74,4	73,6	74,4	74,2
	74,3	73,7	74,4	74,1

Tabulka 2: Shrnutí průměrů činitele prostupu UV záření  $\tau_{UV}$

Laboratoř (kód)	L1	L2	L3	L4
$\tau_{UV}$ (%)	74,4	73,6	74,4	74,3

Tabulka 3: Shrnutí měř rozptýlení

Laboratoř (kód)	L1	L2	L3	L4
$s_r$ (%)	0,06	0,06	0,06	0,32

Zkoušky byly vyhodnoceny v souladu s ČSN ISO 5725-2 Přesnost (pravdivost a preciznost) metod a výsledků měření - Část 2: Základní metoda pro stanovení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti normalizované metody měření.

### Cochranův test

pro  $n = 3$ ,  $p = 4$  (počet laboratoř) je

1% kritická hodnota  $C_{krit} = 0,864$

5% kritická hodnota  $C_{krit} = 0,768$

Tabulka 4: Cochranův test

úroveň	max. hodnota	v laboratoři	Cochranova testová statistika
1	0,32	L4	0,912

Cochranovým testem byla zjištěna odlehlá hodnota v laboratoři L4. Vzhledem k charakteru měření však byly výsledky laboratoře L4 použity i pro další statistické vyhodnocení.

### Grubbsův test

Vzhledem k počtu měřených hodnot byl proveden Grubbsův test pro jedno odlehlé pozorování:

Tabulka 5: Grubbsův test pro průměry měření

úroveň	Testová statistika		Grubbsova kritická hodnota
	jedna velká	jedna malá	
1	0,645	1,480	1,481 (5%) 1,496 (1%)

Grubbsovým testem nebyly zjištěny vybočující a ani odlehlé hodnoty.

### Stanovení konečných hodnot shodnosti

Tabulka 6: Vypočtené hodnoty  $t_{UV}$ ,  $s_r$  a  $s_R$  pro měření činitele přímého prostupu solárního záření

úroveň	$p$	$t_{UV}$ (%)	$s_r$ (%)	$s_R$ (%)
1	4	74,2	0,17	0,40

Na základě klasifikace způsobilosti podle parametru „z“, stanoveného jako

$$z = \frac{|X_n - X|}{\sigma_{n-1}}$$

kde při  $z < 2$  se laboratoř považuje za uspokojivou  
 $2 < z < 3$  se laboratoř považuje za méně důvěryhodnou  
 $z > 3$  se laboratoř považuje za neuspokojivou

bylo konstatováno, že **zúčastněné laboratoře mají uspokojivou způsobilost.**

Tabulka 7: Hodnota z

laboratoř č.	L1	L2	L3	L4
úroveň 1	0,5	1,5	0,6	0,4

V případě laboratoře L4 byl zjištěn zvýšený rozptyl naměřených hodnot, který byl způsoben zvýšeným šumem přístroje zejména v UV A oblasti. Nicméně byla porovnávacími zkouškami zjištěna vyhovující způsobilost všech účastníků. Rozdíly ve výsledcích laboratoř vyplývají výhradně z možností zařízení, kdy jsou k měření použity různé rychlosti skenování, různé šířky štěrby, rozdílné nastavení přepínání zdroje UV a viditelného záření.

## IMPLEMENTACE METODY BIM NA NÁRODNÍ ÚROVNI

**Ing. Bc. Květa Kabátková**

*Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví*

Zkratka BIM znamená *Building Information Modeling*, tj. informační modelování budov, nověji se používá také termín *Building Information Management*, která více zdůrazňuje, že nejde o pouhý model budovy či stavby, ale o management informací o budově či stavbě<sup>1</sup>. Metoda BIM je užitečná v celém životním cyklu stavby: od přípravy a schvalovacího procesu přes provádění stavby, její provoz a údržbu, až do jejího odstranění přispívá ke snížení nákladů. Použití této metody umožňuje zodpovědným osobám činit správná rozhodnutí o stavbě na základě přesných a aktuálních informací obsažených ve společném datovém prostředí, což přispívá ke snížení nákladů na stavbu i provoz budovy; zodpovědný vlastník má být také řádným hospodářem. Rozhodnutí o použití metody BIM je věcí investora a nejčastěji se rozhoduje na úrovni konkrétního projektu, ale také se může jednat o rozhodnutí na úrovni organizace, která do svých procesů zahrne práci s informacemi o stavbě v BIM.

### Role veřejného sektoru v implementaci BIM

Veřejný sektor, ať už se jedná o ministerstva, úřady, samosprávné celky či jiné instituce, je v mnoha případech vlastníkem či provozovatelem staveb. Je tedy žádoucí, aby jednal jako řádný hospodář a efektivně nakládal s veřejnými prostředky použitými na výstavbu infrastruktury i budov a jejich provoz, přičemž metoda BIM v tom může být pomocí. Stát jako zadavatel stavebních prací je největším zákazníkem stavebnictví, jelikož veřejné zakázky tvoří přibližně 30% podíl v celkovém stavebním sektoru<sup>2</sup>. Takto velký podíl na trhu dává státu možnost ovlivnit vývoj ve stavebním sektoru. Požadavek na využití metody BIM ve veřejných zakázkách bude stimulovat stavebnictví k inovacím, což přispěje k lepší konkurenceschopnosti v budoucnu. Jednoznačná státní podpora digitalizace ve stavebnictví prostřednictvím BIM také vede k šíření inovací a digitalizace celým stavebním ekosystémem, jelikož subdodavatelé zakázek jsou tak motivováni k implementaci metody BIM ve svých organizacích, ať už se jedná o architekty, projektanty nebo realizační firmy. Požadavek na implementaci BIM zároveň vede k lepší spolupráci mezi jednotlivými články v řetězci výstavby, jelikož BIM je založen na otevřeném datovém formátu IFC (*Industry Foundation Classes*), který umožňuje interoperabilitu mezi různými softwary BIM<sup>3</sup>.

### Implementace BIM v zahraničí

Vzhledem k přínosům použití metody BIM je zavedení této metody podporováno vládami různých států, jsou

předkládány strategie a akční plány k jejímu zavedení v celostátním měřítku. Jedním z průkopníků této metody je Singapur, který započal implementaci již v roce 2010 s povinností využití BIM pro veřejné zakázky od roku 2015<sup>4</sup>. Dalším průkopníkem ve světovém měřítku je Spojené království Velké Británie a Severního Irsku, které v rámci Government Construction Strategy (GSC) 2011-2015 připravovalo státní správu i průmyslové odvětví na požadavky práce v BIM a dále pokračovalo strategickým plánem GSC 2016-2020. Povinnost použít metodu BIM (level 2, spolupráce v jednotném prostředí) ve veřejných zakázkách tam platí od roku 2016, použití BIM je zavedeno prostřednictvím smluvní podmínky v smlouvách zadavatelů veřejných zakázek.

V Německu se metoda BIM zavádí především u projektů dopravní infrastruktury. Národní dopravce Deutsche Bahn již od roku 2016 vypisuje zakázky s využitím BIM. Spolupracující projektanti musí používat soubory ve formátu IFC. Vnitřními předpisy jsou definovány standardy a úrovně předávaných dat a role jednotlivých účastníků projektu. Harmonogram oprav a údržby je sledován ve sdíleném datovém prostředí (cloudovém SW DB iTWO). V tomto prostředí jsou postupně povolovány přístupy a zápisy projektantů či zhotovitelů a konkrétní průběh akce je všech relevantním aktérům dostupný v jednotném a spolehlivém zdroji informací.

V Dánsku je informační modelování budov právně ukotveno již od roku 2007 v zákoně o veřejných zakázkách, od roku 2013 je povinné pro všechny národní, regionální a obecní projekty a také pro projekty sociálního bydlení.

### Klíčové prvky implementace BIM na národní úrovni

Na příkladech ze zahraničí vidíme, že stát jakožto významný investor staveb může zásadně ovlivnit míru použití BIM prostřednictvím veřejných zakázek, a to prostředním zákonných předpisů, vyhlášek či jiných dokumentů, které jsou pro zadavatele směrodatné. Vedle povinnosti použít BIM v národních předpisech je ale klíčová návaznost na směrnici Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 2014/24 o zadávání veřejných zakázek a o zrušení směrnice 2004/18/ES. Tato směrnice umožňuje zohlednit při zadávání zakázky neekonomičtější řešení i s ohledem na celý životní cyklus stavby. Směrnice rovněž podporuje digitalizaci zadávacích řízení. Použití BIM zvyšuje transparentnost procesu výstavby a umožňuje lepší kontrolu nad náklady, což je v souladu s tradičními principy uplatňovanými v právu veřejných zakázek<sup>5</sup>. Je vhodné, když se veřejní zadavatelé připraví

<sup>1</sup> Věcný záměr zákona o správě informací o stavbě a informačním modelu stavby a vystavěného prostředí

<sup>2</sup> Příručka pro zavádění informačního modelování staveb (BIM) evropským veřejným sektorem

<sup>3</sup> Příručka pro zavádění informačního modelování staveb (BIM) evropským veřejným sektorem

<sup>4</sup> A3 – Rozbor dosavadních příkladů dobré praxe využití BIM ve vztahu k agendám veřejné správy v zahraničí s přehledem právního zakončení využívání BIM v těchto zemích

<sup>5</sup> Návaznost informačního modelování budov (BIM) na směrnici Evropského parlamentu a rady 2014/24/EU o zadávání veřejných zakázek a o zrušení směrnice 2004/18/ES

na budoucí povinnosť práce v BIM prostřednictvím zapojení do pilotních projektů, které jsou realizovány v BIM, a tak si otestují metody a pracovní postupy ve své organizaci<sup>6</sup>.

Dalším důležitým prvkem je standardizace. Spojené království podpořilo rozvoj standardizace pro informační modelování budov a na základě britské normy PAS 1192 dále vznikaly mezinárodní standardy řady ISO 19650 (již přejaty i do evropské normalizační soustavy). Rovněž Dánsko intenzivně podpořilo standardizaci v této oblasti zapojením vlastních odborníků do pracovních skupiny. Standardy usnadňují jejich uživatelům spolupráci, jednotné evropské normy umožňují uživatelům snazší zapojení do zahraničních projektů<sup>7</sup>.

Dalším pilířem co nejširšího zavádění BIM je podpora vzdělávání. V tomto má opět klíčovou roli stát, jelikož může podpořit zavedení výuky prvků BIM do vzdělávacích programů na odborných středních i vysokých školách. Jedná se ale také o vzdělávání zaměstnanců státní správy v rámci školení a kurzů. V ČR je v této oblasti aktivní například Kraj Vysočina, kdy v rámci projektu BIM Academia se žáci učí pracovat v BIM při tvorbě modelů a pasportizaci existujících budov, které jsou ve správě kraje<sup>8</sup>. Pro praktické uplatnění BIM je klíčové, aby existoval dostatek odborníků v různých odvětvích stavebnictví, kteří budou metodě BIM rozumět a budou schopni ji použít.

## Právní zakotvení BIM v ČR

Jak již bylo zmíněno výše, evropská směrnice o zadávání veřejných zakázek umožňuje zadavatelům vyžadovat použití metody BIM. ČR se rozhodla podpořit implementaci metody BIM i prostřednictvím dalšího právního zakotvení. V minulém roce byl předložen **návrh věcného záměru zákona o správě informací o stavbě a informačním modelu stavby a vystavěného prostředí (zákon o BIM)**, který prošel připomínkovým řízením se zapojením ministerstev, krajů a dalších zainteresovaných stran. Po vypořádání připomínek byl finální návrh věcného záměru předložen vládě. Dne 3. května 2023 schválila vláda usnesením č. 298 věcný záměr zákona a uložila ministrovi průmyslu a obchodu, aby do 31. prosince 2023 předložil návrh znění zákona. Obsahem zákona bude stanovení pojmů právních předpisů spojených se stavebnictvím pro potřeby jeho digitalizace (například definice informačního modelu stavby, informačního kontejneru, společného datového prostředí). Zákon předepíše povinnost pořízení informačního modelu stavby veřejným zadavatelům za určitých okolností (například pro nadlimitní zakázky). Dále zákon určí, že Ministerstvo průmyslu a obchodu bude zodpovědné za koordinaci problematiky a za řízení o přestupcích v případě nesplnění této povinnosti. Úřad pro technickou normalizaci a státní zkušebnictví bude prostřednictvím své příspěvkové organizace Česká agentura pro standardizaci zodpovědný za rozvoj, správu a údržbu Datového standardu stavby

(specifikace požadavků na data uváděná ve stavebních projektech a systematické uspořádání informačního modelu pro BIM). Zajištění vzniku a vedení základního informačního modelu vystavěného prostředí bude v gesci Českého úřadu zeměměřického a katastrálního.

Návrh zákona o BIM by také měl stanovit vazbu BIM na národní infrastrukturu pro prostorové informace (NIPI). Přehled různých agend státu v oblasti prostorových informací, které jsou řešeny prostřednictvím portálů či informačních systémů, je uveden ve schématu Národní infrastruktura pro prostorové informace (viz: [https://archi.gov.cz/nap:prostorova\\_data](https://archi.gov.cz/nap:prostorova_data)). Stávající legislativa týkající se prostorových dat, s kterými se dále pracuje v agendách veřejné správy, je nyní roztržštěná, neexistuje dobré propojení a interoperabilita práce s těmito daty. Z tohoto důvodu bude v blízké budoucnosti předložen návrh zákona o národní infrastruktuře pro prostorové informace (NIPI). Tento zákon bude mít za cíl vytvoření nadresortních podmínek pro účelný a efektivní sběr, pořizování, zpracovávání, správu, sdílení a využívání prostorových informací a pro poskytování garantovaných služeb nad prostorovými daty pro potřeby výkonu agend veřejné správy. Mělo by se jednat o komplexní a systematickou právní úpravu, doprovázenou návrhem novel relevantních právních předpisů<sup>9</sup>. Zákon o BIM má úzkou souvislost s prostorovými informacemi, proto jeho obsahem bude také stanovení zodpovědnosti v oblastech, kde je nutná součinnost subjektů zodpovědných za problematiku BIM a gestorů zodpovědných za NIPI.

## Výhled do budoucna

Rozšíření použití metody BIM má také potenciál v budoucnu výrazně urychlit stavební řízení. Na konferenci Digitalizace stavebnictví, která se pořádala v roce 2022 v Praze v rámci Předsednictví ČR v Radě EU, přednesl vedoucí digitalizace stavebnictví z estonského Ministerstva ekonomiky a informatiky Jaan Saar prezentaci s názvem Automatizace kontrol stavebních povolení. Přehledně a poutavou formou v něm představil možnosti digitalizace v oblasti povolování staveb, včetně náhledu demoverze. Předpokladem je samozřejmě projektování v BIM. Estonsko je velmi rozvinuté v oblasti digitalizace státní správy a má za cíl v blízké budoucnosti dosáhnout úplné digitalizace povolování staveb. Nebude tak již potřeba převod 3D modelu do 2D modelu a přímá kontrola pracovníkem stavebního úřadu, ale bude probíhat automatická kontrola softwarovým nástrojem pracujícím s BIM modelem. Zpráva o implementaci projektu stavebního povolení v BIM, včetně obrázků náhledu prostředí a video prezentace jsou dostupné online (<https://eehitus.ee/timeline-post/bim-based-building-permit-process/>). Stavebník bude moci svůj projekt (zpracovaný v BIM) nahrát přímo do příslušného uživatelského rozhraní a program mu automaticky zkontroluje možné chyby, například zda požární únikové trasy odpovídají požadavkům legislativy. Účastník tak bude moci odstranit chyby ještě před finálním odesláním projektu ke schválení a eventuálně projekt doladit. V českém kontextu je toto zatím vzdálená budoucnost, k níž vede vytvoření legislativy zakotvující BIM a související pojmy jako nezbytný krok, na kterém bude další rozvoj digitalizace bezesporu stavět.

<sup>6</sup> Pilotní projekty BIM, [online] <https://www.koncepcebim.cz/temata/pilotni-projekty-bim/>

<sup>7</sup> A3 – Rozbor dosavadních příkladů dobré praxe využití BIM ve vztahu k agendám veřejné správy v zahraničí s přehledem právního zakotvení využívání BIM v těchto zemích

<sup>8</sup> Vysočina – BIM Academia, [online] <https://www.koncepcebim.cz/vysočina-bim-academia/>

<sup>9</sup> Věcný záměr zákona o národní infrastruktuře pro prostorové informace

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

Ing. Miroslav Čermák

Zdroj: Česká agentura pro standardizaci



Během prvního pololetí roku 2023 byly vydány tyto technické normy v oblasti elektrotechniky, elektrotechnického a elektromechanického zařízení, stavebnictví, strojírenství a dalších technických oblastí:

### Stavebnictví

#### ČSN 75 5201 *Navrhování úpraven vody*

Tato norma platí pro navrhování a rekonstrukci úpraven vody (staveb pro úpravu vody), jejichž účelem je upravit vodu odebranou z přírodních i umělých zdrojů na vodu pitnou.

#### ČSN 73 6147 *Recyklace konstrukčních vrstev vozovek za studena*

Tato norma stanovuje požadavky na provádění a kontrolu recyklace konstrukčních vrstev vozovek na místě nebo v míchacím centru za studena. Jedná se o technologii, která se používá při opravách vozovek a musí být navržena na základě diagnostického průzkumu v souladu s příslušným resortním předpisem Ministerstva dopravy.

#### ČSN 73 6148 *Recyklace asfaltových vrstev na místě za horka*

Tato norma stanovuje požadavky na provádění a kontrolu recyklace asfaltových vrstev vozovek na místě za horka. Jedná se o technologii, která se používá při opravách vozovek a musí být navržena na základě diagnostického průzkumu v souladu s příslušným resortním předpisem Ministerstva dopravy.

#### ČSN EN 17637 *Stavební výrobky – Uvolňování nebezpečných látek – Hodnocení dávky emitovaného záření gama*

Tento dokument popisuje metodu výpočtu pro stanovení vnitřní dávky gama ze stavebních výrobků. Metoda zahrnuje výpočet vnitřní dávky z jednotlivého stavebního výrobku při jeho zamýšleném použití, jakož i dávky z budovy s přihlédnutím k více stavebním materiálům, je-li to považováno za nutné, a případnému stínění od pozemského pozadí. Metoda výpočtu staví na existujících principech modelování pro emisi a absorpci fotonů. Parametry modelování, které nejsou specifické pro produkt, jako je geometrie místnosti, expoziční koeficienty a konverzní faktory, jsou předdefinovány a jsou základem pro metodu v této EN.

### Strojírenství

#### ČSN EN ISO 25178-2 *Geometrické specifikace produktu (GPS) – Textura povrchu: Plocha – Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu*

Norma specifikuje termíny, definice a parametry pro stanovení povrchové textury pomocí plošných metod. Parametry se počítají ze souřadnic definovaných souřadnicovým systémem specifikace nebo z odvozených veličin (např. sklon, zakřivení).

#### ČSN EN 619 *Kontinuální manipulační zařízení a systémy – Bezpečnostní požadavky na zařízení pro mechanickou manipulaci s přepravními jednotkami*

Norma se zabývá požadavky na konstrukci stroje, přepravu, instalaci, uvádění do provozu, provoz, seřizování, údržbu a čištění za účelem minimalizace nebezpečí uvedených v příloze F. Tato nebezpečí mohou vzniknout při provozu a údržbě zařízení a systémů pro kontinuální manipulaci, pokud probíhají v souladu se specifikacemi danými výrobcem nebo jeho zplnomocněným zástupcem. Tato norma se zabývá technickým ověřováním souvisejícím s bezpečností během uvádění do provozu.

#### ČSN EN 12952-8 *Vodotrubné kotle a pomocná zařízení – Část 8: Požadavky na spalovací zařízení kotlů na plynná a kapalná paliva*

Norma stanovuje požadavky na spalovací zařízení na kapalná a plynná paliva parních a horkovodních kotlů definovaných v EN 12952-1:2015. Tyto požadavky platí i pro spalovací zařízení regeneračních kotlů (kotle na sulfátový výluh) společně s dodatky a doplňky uvedenými v příloze A. Dále stanovuje požadavky na paliva, která jsou v normě definována.

#### ČSN EN 10025-6+A1 *Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí – Část 6: Technické dodací podmínky pro ploché výrobky z ocelí s vyšší mezí kluzu v zušlechťeném stavu*

Norma specifikuje technické dodací podmínky pro ploché a dlouhé výrobky z legovaných ušlechtilých ocelí s vyšší mezí kluzu. Oceli uvedené v normě jsou určeny na ploché výrobky válcované za tepla v rozmezí tlouštěk od minimálně 3 mm do maximálně 200 mm včetně, z ocelí S460, S500, S550, S620 a S690, maximální jmenovité tloušťky 125 mm pro oceli S890 a S960.

#### ČSN EN 14700 *Svařovací materiály – Svařovací materiály pro tvrdé návary*

Norma platí pro přídavné a pomocné svařovací materiály pro vytváření tvrdého povlaku. Rozsah použití zahrnuje povrchy nových konstrukčních částí, polotovárů, jakož i opravy povrchů konstrukčních částí, které musí odolávat mechanickému, chemickému, tepelnému nebo kombinovanému

namáhání. Norma uvádí požadavky pro klasifikaci všech svařovacích materiálů založené na chemickém složení svařovacího kovu obalených elektrod, plněných elektrod, plněných tyčí, plněných páskových elektrod, spékaných páskových elektrod, spékaných tyčí a kovových prášků a také na chemickém složení plných svařovacích drátů, svařovacích tyčí, páskových elektrod a litých tyčí.

### ČSN EN ISO 6165 *Strojní zařízení pro zemní práce – Základní typy – Identifikace a slovník*

Norma poskytuje slovník a identifikační členění pro klasifikaci strojního zařízení pro zemní práce navrženého pro provádění těžení, nakládání, přepravy, vrtání, rozprostírání, zhutňování nebo rýhování zeminy, horniny a dalších materiálů, během práce např. na silnicích a hrázích, v lomech a dolech a na staveništích.

### ČSN ISO 12135 *Kovové materiály – Jednotná metoda zkoušky pro určení kvazistatické lomové houževnatosti*

Norma specifikuje metody pro určení lomové houževnatosti vyjádřené veličinami K,  $\delta$ , J a R- křivkami pro homogenní kovové materiály podrobené kvazistatickému zatěžování. Zkušební vzorky jsou opatřeny vrubem, předem vytvořenou únavovou trhlinou a zkouší se za pomalu rostoucího rozevření. Lomová houževnatost se pro jednotlivé zkušební vzorky určí při nebo po počátku tvárného šíření trhliny nebo na počátku nestability tvárné trhliny nebo nestabilního šíření trhliny. V případech, kdy trhliny rostou stabilním způsobem za podmínek tvárného rozevření trhliny, měří se křivka odporu popisující lomovou houževnatost jako funkci šíření trhliny.

## Inteligentní dopravní systémy

### ČSN P CEN/TS 16157-6 *Inteligentní dopravní systémy – Specifikace výměnného formátu DATEX II pro řízení dopravy a dopravní informace – Část 6: Publikace o parkování*

Tento dokument stanoví publikační submodel podporující výměnu a sdílení využívání dat a informací v oblasti dopravy a cestování. Obsahuje rámec a kontext pro výměnu, modelování dat, datový obsah, datové struktury a vztahy. Dokument je použitelný pro:

- informace o dopravě a cestování, které se týkají silničních sítí (mimoměstských i městských);
- informace o veřejné dopravě, které mají přímý význam pro používání silniční sítě (např. silniční spojení vlakem nebo trajektem);
- dopravní a cestovní informace v případě kooperativních inteligentních dopravních systémů (C-ITS).

Tato část CEN/TS 16157 stanoví informační struktury, vztahy, asociace, atributy a související datové typy požadované v rámci DATEX II pro publikace o parkování, obsahující statický obsah (popis a přiřazení parkovacích stání a míst a dále informace o areálu) a dynamický obsah (informace o obsazenosti a měření vozidel). Zahrnuje informace o parkování ve městech i informace o parkování nákladních vozidel.

Tento dokument stanoví jmenný prostor DATEX II Parking, který je součástí platformy nezávislého modelu DATEX II podle EN 16157-1 (vydané jako DATEX II, verze 3.x).

Tato část nezahrnuje prvky, které jsou specifikovány v jiných částech tohoto souboru norem, jako je EN 16157-2 (Odkazování na polohu), EN 16157-7 (Společné datové prvky) nebo CEN/TS 16157-12 (Publikace o obslužných zařízeních a vybavenosti).

### TNI ISO/TR 4445 *Inteligentní dopravní systémy – Integrace mobility – Model rolí při zavádění služeb ITS v chytrých městech*

Tento dokument popisuje základní model rolí při zavádění služeb inteligentních dopravních systémů (ITS) v chytrých městech jako součást budované platformy chytrého města, které přímo komunikují prostřednictvím bezpečných rozhraní ITS. Poskytuje model, který popisuje:

- a) rámec pro poskytování aplikačních služeb kooperativních ITS;
- b) popis provozního konceptu, regulačních aspektů a možností a modelu rolí;
- c) koncepční architekturu pro aktéry, kteří poskytují/přijímají aplikační služby ITS;
- d) odkazy na klíčové dokumenty, z nichž architektura vychází;
- e) taxonomie organizace obecných postupů.

### Normy převzetím originálu s překladem terminologie:

#### ČSN ISO 4272 *Inteligentní dopravní systémy – Systémy (podpory) jízdy nákladních vozidel v konvoji (TPS) – Funkční a provozní požadavky*

Norma definuje strukturu, funkce a provozní podmínky systémů podpory automatizované jízdy konvojů nákladních vozidel (tzv. truck platooning systems – TPS). Jedná se o jeden z moderních přístupů (systémů), který využívá možnosti komunikace V2V pro zefektivnění jízdy (např. snížení spotřeby paliva), a který svým způsobem směřuje k moderní autonomní silniční mobilitě.

#### ČSN EN ISO 14906 *Elektronický výběr mýtného – Stanovení aplikačního rozhraní pro vyhrazenou komunikaci krátkého dosahu (DSRC)*

Norma stanoví aplikační rozhraní v kontextu systémů elektronického výběru mýtného (EFC), využívající komunikaci DSRC. Aplikační rozhraní EFC je rozhraní mezi aplikačním procesem EFC a aplikační vrstvou DSRC. Působnost tohoto dokumentu zahrnuje specifikace:

- atributů EFC (tj. informací o aplikaci EFC), které lze použít pro jiné aplikace a/nebo rozhraní;
- postupů adresování atributů a (hardwarových) komponent EFC (například ICC a MMI);
- aplikačních funkcí EFC, tj. podrobnější popis akcí pomocí stanovení příslušných služeb, přidělení přidružených hodnot ActionType a obsahu a významu parametrů daných činností;
- transakčního modelu EFC stanovujícího společné prvky a kroky jakékoliv transakce EFC;



– chování rozhraní tak, aby byla zabezpečena interoperabilita na úrovni aplikačního rozhraní EFC-DSRC.

### Vysokonapěťová spínací a řídicí zařízení

**ČSN EN IEC 60255-1 ed. 2 Měřicí relé a ochranná zařízení – Část 1: Společné požadavky**

Norma stanovuje společná pravidla a požadavky použitelné pro měřicí relé a ochranná zařízení, včetně kombinací zařízení, vytvářejících distribuované schéma ochrany pro ochranu elektrizační soustavy, jakými jsou řídicí, monitorovací a zařízení rozhraní procesu, aby bylo dosaženo jednotnosti požadavků a zkoušek. Tento dokument pokrývá hlavní technologie, které se dnes používají. Další vznikající technologie představují specifické problémy EMC a bezpečnosti, ale i v těchto případech bude uplatněna filozofie této normy.

### Točivé elektrické stroje

**ČSN EN IEC 60034-18-1 ed. 3 Točivé elektrické stroje – Část 18-1: Funkční hodnocení izolačních systémů – Obecné návody**

Norma pojednává o obecných návodech pro funkční hodnocení elektroizolačních systémů, které jsou používány v točivých elektrických strojích v rozsahu uvedeném v IEC 60034-1, a to s cílem zajištění jejich kvalifikace.

### Elektrotechnika v dopravě

**ČSN EN 50122-2 ed. 3 Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Elektrická bezpečnost, uzemnění a zpětný obvod – Část 2: Ochranná opatření proti účinkům bludných proudů DC trakčních soustav**

Norma stanovuje požadavky na ochranná opatření proti účinkům bludných proudů, které vznikají při provozu DC elektrických trakčních napájecích soustav. Norma platí pro veškeré kovové pevné instalace, které tvoří součást trakčního systému, a taktéž pro ostatní kovové součásti umístěné v jakékoliv poloze v zemi, které mohou přenášet bludné proudy, vznikající při provozu drážního systému.

**ČSN EN 50122-3 ed. 2 Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Elektrická bezpečnost, uzemnění a zpětný obvod – Část 3: Vzájemná interakce mezi AC a DC trakčními soustavami**

Norma stanovuje požadavky na ochranná opatření vztahující se k elektrické bezpečnosti v pevných instalacích, pokud je přiměřeně pravděpodobné, že vzniknou nebezpečná napětí nebo proudy pro osoby nebo zařízení v důsledku vzájemné interakce DC a AC elektrických trakčních napájecích soustav. Vztahuje se rovněž na všechny části pevných instalací, které jsou nezbytné pro zajištění elektrické bezpečnosti při údržbě v rámci napájecích soustav elektrické trakce.

**ČSN EN IEC 63110-1 Protokol pro správu infrastruktury pro nabíjení a vybíjení elektrických vozidel – Část 1: Základní definice, případy použití a architektury**

Norma je základní normou pro ostatní části souboru. Zahrnuje definice, případy použití a architekturu pro správu

infrastruktury pro nabíjení a vybíjení elektrických vozidel. Dále se zabývá obecnými požadavky na vytvoření ekosystému e-mobility, a proto zahrnuje komunikační toky mezi různými účastníky e-mobility i datové toky s energetickou soustavou.

**ČSN EN 50436-4 ed. 2 Protialkoholová blokovací zařízení – Zkušební metody a požadavky na vlastnosti – Část 4: Spojení a digitální rozhraní mezi protialkoholním blokovacím zařízením a vozidlem**

Norma stanovuje rozhraní mezi protialkoholovým blokovacím zařízením a vozidlem, pro jeho výrobu a následnou instalaci do vozidla. Podrobně popisuje způsoby elektrického připojení, přiřazení elektrických připojovacích vodičů a informace, které se mají vyměňovat mezi vozidlem a protialkoholovým blokovacím zařízením.

**ČSN EN IEC 60700-3 Tyristorové spínače pro přenos energie stejnosměrným proudem velmi vysokého napětí (HVDC) – Část 3: Základní jmenovité údaje (mezní hodnoty) a charakteristiky**

Norma specifikuje provozní podmínky, definice základních jmenovitých hodnot a charakteristiky tyristorových ventilů používaných v měničích s komutací vedení s třífázovým můstkovým zapojením pro převod střídavého proudu na stejnosměrný, a naopak pro vysokonapěťové stejnosměrné (HVDC) aplikace přenosu energie. Je použitelná pro vzduchem izolované, kapalinou chlazené a vnitřní tyristorové ventily.

### Fotovoltaika

**ČSN EN 62446-1+A1 Fotovoltaické (PV) systémy – Požadavky na zkoušení, dokumentaci a údržbu – Část 1: Systémy připojené k síti – Dokumentace, zkoušky při uvádění do provozu a prohlídka (následný překlad normy vydané v roce 2016 v anglickém znění)**

Norma definuje informace a dokumentaci požadované pro předání zákazníkovi po instalaci fotovoltaického (PV) systému připojeného k síti. Také popisuje zkoušky při uvádění do provozu, kritéria pro kontrolu a dokumentaci očekávanou k revizi bezpečné instalace a správného provozu systému. Také může být použita pro pravidelné zkoušky. Tato část IEC 62446 je vytvořena pro fotovoltaické (PV) systémy připojené k síti, které nevyužívají ukládání energie (např. baterie) nebo hybridní systémy. Tato část IEC 62446 je určena pro použití konstruktéry systému a instalátory solárních fotovoltaických (PV) systémů připojených k síti jako vzor poskytnutí efektivní dokumentace zákazníkovi. Pomocí podrobného popsání očekávaných přijímacích zkoušek a kritéria prohlídky je také určena k pomoci při revizi/prohlídce fotovoltaického (PV) systému připojeného k síti po instalaci a pro následující pravidelné prohlídky, údržbu a úpravy. Tato část IEC 62446 definuje odlišné zkušební režimy očekávané pro odlišné solární fotovoltaické (PV) systémy, aby bylo zajištěno, že použitý zkušební režim je vhodný pro měřítko, typ a složitost dotyčného systému. Tato část IEC 62446 není určena pro koncentrující fotovoltaické (CPV) systémy, ale mnoho částí se použít může.

### ČSN EN IEC 62109-3 *Bezpečnost výkonových měničů pro použití ve výkonových fotovoltaických systémech – Část 3: Zvláštní požadavky na elektronická zařízení v kombinaci s fotovoltaickými prvky*

Norma pokrývá zvláštní bezpečnostní požadavky na elektronické prvky, které jsou mechanicky a/nebo elektricky začleněny do (PV) modulů nebo systémů. Mechanicky a/nebo elektricky začleněné znamená, že celá kombinace elektronického zařízení s fotovoltaickým prvkem se prodává jako jeden výrobek. Zkoušky v této normě však lze také použít k vyhodnocení kompatibility PV modulů a elektronických zařízení, které se prodávají samostatně a jsou určeny k instalaci blízko sebe. Položky zahrnuté v tomto rozsahu platnosti: Elektronická zařízení kombinovaná s PV moduly, která vykonávají funkce, jako jsou (ale bez omezení na) přeměna výkonu DC-DC nebo DC-AC, aktivní diody, ochrany, ovládání, monitorování nebo komunikace. Tyto požadavky se konkrétně týkají takovýchto elektronických zařízení, používaných v kombinaci s plochými fotovoltaickými (PV) moduly.

### Výkonové transformátory

#### ČSN EN 50708-2-3 *Výkonové transformátory – Dodatečné evropské požadavky – Část 2-3: Střední výkonové transformátory – Příslušenství*

Norma popisuje seznam běžného příslušenství používaného pro kapalinou plněné a suché střední výkonové transformátory ( $\leq 3150$  kVA). Zahrnuje konstrukční požadavky, včetně přehledu příslušenství, který s ohledem na různé specifické požadavky není zcela vyčerpávající.

#### ČSN EN 50708-3-4 *Výkonové transformátory – Dodatečné evropské požadavky – Část 3-4: Velké výkonové transformátory – Zvláštní zkoušky pro nádobu s vlnovci a radiátory*

Norma popisuje zvláštní zkoušky pro nádoby transformátorů ponořených do kapaliny, které jsou během provozu hermeticky uzavřené a zcela naplněné kapalinou, přičemž změna objemu kapaliny v důsledku změny teploty je kompenzována pružnou deformací chladicího prvku pro velké výkonové transformátory se jmenovitým výkonem větším než 3150 kVA.

### Kabely a vodiče

#### ČSN EN 50397-3 ed. 2 *Izolované vodiče pro nadzemní venkovní vedení a související příslušenství pro jmenovité napětí nad 1 kV AC a do 36 kV AC včetně – Část 3: Pokyn pro použití*

Norma obsahuje obecná doporučení pro výběr, skladování, přepravu a instalaci izolovaných vodičů a souvisejícího příslušenství, uvedeného v normách EN 50397-1 a EN 50397-2, pokud není uvedeno jinak. Bezpečnostní předpisy a předpisy týkající se životního prostředí, jakož i pravidla pro instalaci a mechanické provedení, nejsou v tomto pokynu pro použití zohledněny, protože se jimi zabývají příslušné národní předpisy a zákony. Příslušné národní předpisy nejsou v tomto pokynu zohledněny, ale doporučuje se je podle potřeby vždy prostudovat.



### Elektromechanické ruční nářadí

#### ČSN EN IEC 62841-4-7 *Elektromechanické ruční nářadí, přenosné nářadí a žací a zahradní stroje – Bezpečnost – Část 4-7: Zvláštní požadavky na prořezávače a provzdušňovače trávníku vedené ručně před sebou*

Norma platí pro ručně vedené prořezávače trávníku a provzdušňovače trávníku, které jsou navrženy pro regeneraci trávníků pomocí prohrabání materiálu, jako je tráva, suché drny a mech, nebo svislého prořezávání povrchu trávníku pomocí kovových hrotů a/nebo pevných nekovových hrotů, které se otáčejí kolem vodorovné osy.

### Elektrické spotřebiče pro domácnost a podobné účely

#### ČSN EN IEC 60335-2-24 ed. 6 *Elektrické spotřebiče pro domácnost a podobné účely – Bezpečnost – Část 2-24: Zvláštní požadavky na chladicí spotřebiče, spotřebiče na výrobu zmrzliny a výrobky ledu*

Norma se zabývá bezpečností dále uvedených spotřebičů, jejichž jmenovité napětí není vyšší než 250 V u jednofázových spotřebičů, 480 V u ostatních spotřebičů a 24 V u DC spotřebičů napájených z baterií:

- chladicí spotřebiče pro domácnost a podobné účely;
- výrobky ledu se zabudovanými motorkompresory a výrobky ledu určené pro zabudování do mrazicích prostorů pro uchování potravin;
- chladicí spotřebiče a výrobky ledu pro používání při táboření, v obytných přívěsech a na lodích pro rekreační účely.

Tyto spotřebiče smí být provozovány z napájecí sítě, ze samostatné baterie nebo smí být napájeny jak ze sítě, tak i ze samostatné baterie. Tato norma se rovněž zabývá bezpečností spotřebičů na výrobu zmrzliny určených pro používání v domácnostech, jejichž jmenovité napětí není vyšší než 250 V u jednofázových spotřebičů a 480 V u ostatních spotřebičů. Zabývá se rovněž spotřebiči kompresorového typu pro domácnost a podobné účely, které používají hořlavá chladiva. Tato norma nepojednává o technických vlastnostech, konstrukci a provozu těchto chladicích spotřebičů, jimiž se zabývají jiné normy IEC.

## NABÍDKA AKCÍ ČMS na I. pololetí roku 2024



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

Novotného lávka 5, 110 00 Praha 1

tel.: 221 082 254, 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
11. březen 2024 ČSVTS, Praha, Novotného lávka 5, sál č. 220	K 609-24	Základy měření osvětlení
21. březen 2024 ČSVTS, Praha, Novotného lávka 5, sál č. 318	K 599-24	Základy měření ve strojírenství
15. duben 2024 ČSVTS, Praha, Novotného lávka 5, sál č. 220	K 610-24	Základy světelné techniky
16. 4. a 17. 4. 2024 PRIMAVERA Hotel & Congress centre, Plzeň	Ko 613-24	31. mezinárodní konference „Měřicí technika pro kontrolu jakosti“ s výstavkou měřicí, zkušební a kontrolní techniky

Místo a datum konání	Kód akce	Název akce
22. duben 2024 ČSVTS, Praha, Novotného lávka 5, sál č. 220	K 611-24	Kurz měření průtoků
13. květen 2024 ČSVTS, Praha, Novotného lávka 5, sál č. 220	K 608-24	Měření venkovního osvětlení
16. květen 2024 ČSVTS, Praha, Novotného lávka 5, sál č. 318	K 612-24	Způsobilost měřicího procesu a způsobilost měřidel
Trvalá nabídka	K 70	Korespondenční kurz metrologie

Další informace o připravovaných akcích včetně přihlášek ke stažení jsou zveřejněny na:

<https://www.spolky-csvts.cz/cms/kalendar-akci-cms>

Pokud máte zájem o aktuální informace a o termínech pořádaných akcí, registrujte se na:

<https://www.spolky-csvts.cz/cms/content/registrace>

### Česká metrologická společnost, z.s. uvítá zájemce o členství v ČMS

- Začínajícím metrologům umožníme s výhodami členství další profesní růst prostřednictvím odborných akcí, které pořádáme.
- Rádi přivítáme také zkušené metrology, kteří by byli ochotni předávat své zkušenosti ostatním „uživatelům“ metrologie v praxi, především formou přednáškové nebo publikační činnosti na akcích pořádaných ČMS.

#### 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. Prizvaní: PhDr. Bořivoj Kleník – šéfredaktor. Časopis vychází 4 x ročně. Cena výtisku 80,- Kč, roční předplatné 320,- Kč + poštovné a balné + 10 % DPH. Vydavatel: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) ve spolupráci s Českým metrologickým institutem, Českou metrologickou společností a Českým kalibračním sdružením. Sídlo vydavatele: ÚNMZ, Biskupský dvůr 1148/5, 110 00 Praha 1. IČO: 48135267. Povolení tisku: registrace MK ČR 6111, MIČ 46 676, ISSN 1210-3543.

Místo vydávání: Praha. Datum vydání: listopad 2023. 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:

Realizace referenčního měření indukčního průtokoměru DN 65 pro mezilaboratorní porovnání MPZ 400-22

#### Photo on the front page:

Realization of the reference measurement of the electromagnetic flowmeter DN 65 for interlaboratory comparison ILC 400-22

