

Rozvoj technické základny NMS podle jednotlivých oborů metrologie

I. Měření hmotnosti

Vážení, respektive měření hmotnosti je jedním z nejrozšířenějších měření v technické praxi. Lze je nalézt ve vědě, výzkumu, výrobě, obchodu, službách (kde jde především o přepravu nákladů, dopravu zásilek) a dále v oblasti ochrany životního prostředí a v zemědělství. Měření hmotnosti (vážení) je také základem pro mnoho nepřímých metod měření, například pro chemické analýzy, vědecký výzkum, biologii, zdravotnictví. Značnou část rozsahu aplikací pokrývá průmyslová vážicí technika, která v ČR v poměrně krátké době prodělala výraznou technologickou změnu. V tomto oboru jsou následující cíle:

- i. Robotizace kalibrací etalonových sad závaží v rozsahu 1 mg až 1 kg.

Termín: 12/2019

V požadovaném termínu bylo vybudováno a uvedeno do provozu speciální pracoviště pro robotickou kalibraci etalonových sad závaží v rozsahu 1 mg až 1 kg v rámci ČMI OI Jihlava.

Úkol splněn.

- ii. Rozšíření měření hustoty a objemu přesných etalonů hmotnosti až do 20 kg.

Termín: 12/2021

Laboratoř primární etalonáže hmotnosti rozšířila přístrojové vybavení o hmotnostní komparátor s maximální váživostí 40 kg a dílkem 1 mg, kde je možné využít kromě hlavní vážicí plošiny ještě spodní zavěšení. Díky tomu má tak laboratoř k dispozici komparátor, kde je umožněno měření objemu pro závaží do jmenovité hmotnosti 20 kg přesnějšími metodami založenými na určení zdánlivé hmotnosti v kapalině. V roce 2021 byla provedena řada měření objemu závaží metodami hydrostatického vážení ve vodě odvozených z postupů v dokumentu OIML R111. Závaží o hmotnosti 1 kg bylo kalibrováno několika různými metodami, kde se prokázalo, že objem určený novým komparátorem je ve shodě s jinými metodami, například měření hmotnosti v nízkém tlaku. Objemy ostatních závaží byly srovnány s dřívějšími hodnotami opět se shodou v rámci nejistoty. Nejistoty měření metodou hydrostatického vážení jsou významně nižší než dřívější hodnoty nejistot, kdy byly použity jiné metody měření, a především komparátor hmotnosti s horšími metrologickými parametry než nově pořízený. Potvrzeno oponenturou příslušného úkolu TR v prosinci 2021.

Úkol splněn.



Obrázek 1 - Komparátor hmotnosti Sartorius MCM40K3

II. Měření tíhového zrychlení

Oblast měření tíhového zrychlení má uplatnění v aplikovaných oborech geologie (zejména geodézie a geofyzice), při řešení environmentálních problémů a metrologii (výkonové váhy, návaznost etalonů síly a momentu síly).

V tomto oboru jsou následující cíle:

- i. Předložení CMC v rámci mezinárodního ujednání CIPM MRA pro měření tíhového zrychlení a kalibraci absolutních gravimetrů.
Termín: 12/2018

CMC v rámci mezinárodního ujednání CIPM MRA pro měření tíhového zrychlení a kalibraci absolutních gravimetrů byly předloženy v listopadu 2018.

Úkol splněn.

- ii. Zpřesnění státního etalonu tíhového zrychlení.
Termín: 12/2021

V rámci spolupráce VÚGTK a ČMI je od roku 2016 prováděn zásadní výzkum a vývoj v oblasti absolutního měření tíhového zrychlení. Byl vyvinut nový tzv. HS5 měřící a vyhodnocovací systém ke gravimetrům typu FG5 a FG5X, ověřeny a určeny byly systematické chyby z elektronické disperze, distorze, difrakce laserového svazu, Coriolisovy síly a vertikality. Výsledky byly publikovány v řadě impaktovaných časopisech. V důsledku dosažených vylepšení došlo ke změnám v sestavě státního etalonu (gravimetr FG5-215), který byl opatřen novým HS5 systémem vyhodnocení interferenčních proužků a také detektorem pozice svazku odraženého od koutového odražeče. Rozšířená nejistota měření byla snížena z $5,0E-8$ m/s^2 na $4,4E-8$ m/s^2 . Zároveň byl vylepšen i absolutní gravimetr FG5X-251, který byl navíc opatřen i novým detektorem interferenčních proužků a kvalitním kolimátorem laserového svazku. Těmito úpravami bylo dosaženo vyrovnání nejistoty obou gravimetrů. V roce 2019 byla navržena aktualizace státního etalonu zahrnující jednak vylepšení gravimetru FG5-215/HS5 a jednak jeho rozšíření o gravimetr FG5X-251/HS5. Tento návrh byl schválen ÚNMZ v roce 2020.

Úkol splněn.

III. Metrologie elektrických a magnetických veličin

Jedním z klíčových oborů měření pro velké množství průmyslových procesů a vědních oborů je měření elektrických a magnetických veličin. Mimořádný ekonomický význam má přesné měření zejména ve výrobě, v distribuci a spotřebě elektrické energie, v komunikacích a v dopravě. Neopomenutelné jsou ale i aplikace v „neekonomických“ oblastech, například v oblasti zdraví a bezpečnosti. Rychle se rozvíjející oblastí, která vyžaduje značnou metrologickou podporu, je přenos a distribuce elektrické energie prostřednictvím inteligentních sítí a nových přenosových linek ultra-vysokého napětí. Další prioritní oblastí je metrologické zajištění pro charakterizaci elektromagnetických vlastností nových a pokročilých materiálů. Rozvoj metrologie elektrických veličin je zaměřen především na dobudování a modernizaci souboru etalonů a rozšíření měřících schopností.

Koncepce rozvoje měření elektrických a magnetických veličin je rozdělena na dílčí obory:

- a) Metrologie vysokých napětí a proudů
 - b) Metrologie ss odporu
 - c) Metrologie nf střídavého napětí
 - d) Metrologie ss proudů
 - e) Metrologie vf elektrických veličin
 - f) Metrologie střídavých proudů
 - g) Metrologie elektrické impedance
 - h) Metrologie elektrických signálů
 - i) Metrologie elektrického výkonu a práce
 - j) Metrologie magnetických veličin
- a) V oboru metrologie vysokých napětí a proudů je cílem:
- i. Rozšířit metrologické zajištění návaznosti v oblasti vysokého stejnosměrného napětí až do 100 kV.

Termín: 12/2017

Byl pořízen VN zdroj DC napětí s rozsahem do 100 kV. Ke stávajícímu kilovoltmetru Vitrek 4700 se třemi měřicími sondami HVL 35, HVL 70 a HVL 100 s rozsahy (35; 70 a 100) kV DC byla zakoupena další sonda HVL 150 s rozsahem 150 kV DC. Kilovoltmetr včetně sond HVL 35, HVL 70 a HVL 100 byl zkalibrovan v PTB Braunschweig, čímž je zajištěna metrologická návaznost v oblasti VN DC napětí v rozsahu do 100 kV.

Úkol splněn.



Obrázek 2 - Regulovatelný DC zdroj Glassman 100 kV/5 kW a DC dělič Ross Engineering Corp

- ii. Zpřesnit metrologické zajištění návaznosti poměru střídavých napětí 50 Hz návrhem a realizací systému pro vyhodnocení chyb měřicích transformátorů napětí (MTN).
Termín: 12/2018

Základní používaná metoda pro kalibraci měřicích transformátorů napětí je založena na porovnání kalibrovaného transformátoru s etalonem. Jako etalon se používá klasický induktivní transformátor nebo kapacitní a elektronický dělič. Diference chyb kalibrovaného transformátoru a etalonu se vyhodnocuje pomocí speciálních zařízení. Výhodou těchto zařízení je, že umožňují v určitém rozsahu vyhodnotit diferenci chyb transformátorů s různým převodem. Jejich nevýhodou však je, že tato zařízení zatěžují oba porovnávané objekty a jejich maximální absolutní chyba údaje je v nejlepším případě 50 ppm pro chybu napětí a 0,17 úhlové minuty pro chybu úhlu. Tyto parametry však nejsou vyhovující pro velmi přesné kalibrace jako např. mezinárodní porovnání a lze je zlepšit použitím lock-in zesilovače pro vyhodnocení chyb kalibrovaného transformátoru. V rámci řešení úkolů TR byl navržen a realizován postup pro kalibraci měřicích transformátorů napětí s využitím lock-in zesilovače, který zajistí snížení nejistoty měření. Z výsledků řešení je patrné, že použitím lock-in zesilovače pro kalibraci měřicích transformátorů napětí lze nejistotu snížit ve srovnání s použitím komerčních systémů pro vyhodnocení chyb měřicích transformátorů napětí. Výhodou je, že lock-in zesilovač oproti komerčním zařízením prakticky nezatěžuje kalibrovaný transformátor. Porovnání transformátorů s různými převody umožňuje použití indukčních děličů napětí zařazených v sekundárním obvodu transformátoru s vyšším jmenovitým sekundárním napětím. Potřebné indukční děliče napětí byly vyvinuty a realizovány v rámci úkolů TR v minulých letech a jsou na pracovišti odd. 8017 k dispozici.

Úkol splněn.

- iii. Zabezpečit metrologii poměru střídavých proudů při kmitočtu 50 Hz v rozsahu primárních proudů do 50 kA.
Termín: 12/2021

V lednu 2021 bylo kompletně dokončeno vyhodnocení mezinárodního porovnání Euramet 1187 „Comparison of Instrument Current Transformers in the Range (1 - 10) kA/5 A“ kde byl ČMI LPM Praha pilotní laboratoří. Metrologie poměru střídavých elektrických proudů kmitočtu 50 Hz v rozsahu primárních proudů do 10 kA je zajišťována na pracovišti ČMI LPM Praha. Metrologie poměru střídavých elektrických proudů kmitočtu 50 Hz v rozsahu primárních proudů do 50 kA je zajišťována na detašovaném pracovišti v laboratoři IVEP, a.s. Brno, kde je k dispozici odpovídající proudový zdroj 50 Hz a proudová smyčka s 10 závitů. Jako etalon slouží proudový komparátor Tettex 4764 spolu s automatickým systémem pro měření chyb měřicích transformátorů proudu Tettex 2767 a programovatelnou elektronickou proudovou zátěží Tettex 3691. Uvedené etalonové přístroje jsou majetkem ČMI LPM Praha. Tudíž nebyly nutné žádné investiční nákupy. Koncem roku 2021 bylo na tomto pracovišti provedeno dvoustranné porovnání měřicích transformátorů proudu mezi ČMI LPM Praha a AMS ABB, s.r.o. Brno v rozsahu do 30 kA. Na uvedeném pracovišti je rovněž možné provádět kalibrace

Rogowského cívek v rozsahu do 50 kA. Všechny výše uvedené výkony jsou zajišťovány jako akreditovaná činnost.

Úkol splněn.

- ii. Zavést nový obor kalibrace měřičů povrchového izolačního odporu pro izolační materiály a antistatické textilie.

Termín: 12/2021

V lednu 2021 bylo kompletně dokončeno vyhodnocení mezinárodního porovnání Euramet 1187 „Comparison of Instrument Current Transformers in the Range (1 - 10) kA/5 A“, kde byl ČMI LPM Praha pilotní laboratoří. Metrologie poměru střídavých elektrických proudů kmitočtu 50 Hz v rozsahu primárních proudů do 10 kA je zajišťována na pracovišti ČMI LPM Praha. Metrologie poměru střídavých elektrických proudů kmitočtu 50 Hz v rozsahu primárních proudů do 50 kA je zajišťována na detašovaném pracovišti v laboratoři IVEP, a.s. Brno, kde je k dispozici odpovídající proudový zdroj 50 Hz a proudová smyčka s 10 závitů. Jako etalon slouží proudový komparátor Tettex 4764 spolu s automatickým systémem pro měření chyb měřicích transformátorů proudu Tettex 2767 a programovatelnou elektronickou proudovou zátěží Tettex 3691. Uvedené etalonové přístroje jsou majetkem ČMI LPM Praha. Tudíž nebyly nutné žádné investiční nákupy. Koncem roku 2021 bylo na tomto pracovišti provedeno dvoustranné porovnání měřicích transformátorů proudu mezi ČMI LPM Praha a AMS ABB, s.r.o. Brno v rozsahu do 30 kA. Na uvedeném pracovišti je rovněž možné provádět kalibrace Rogowského cívek v rozsahu do 50 kA. Všechny výše uvedené výkony jsou zajišťovány jako akreditovaná činnost.

Úkol splněn.



Obrázek 3 - Sonda s podložkou Wolfgang Warmbier 880 a kalibrační přípravek Electro-Tech System 809B

b) V oboru metrologie ss odporu je cílem:

- i. Zpřesnit a rozšířit schopnosti laboratoře o kalibrace vysokoohmových odporů a vysokoohmových mostů s měřicím rozsahem 100 kΩ až 100 MΩ s relativními nejistotami od $0,05 \cdot 10^{-6}$.

Termín: 12/2018

V rámci plnění úkolu byly charakterizovány napěťové závislosti referenčních etalonů odporu v rozsahu 100 kΩ až 100 MΩ pomocí různých měřicích principů, které využívají kryogenní proudový komparátor Hamonovy transferové etalony a odporový most na principu binárního děliče napětí. Klíčový referenční vysokoohmový odporový most musel být opraven, následně proběhly experimenty pro potvrzení splnění specifikací daných výrobcem mostu. Po analýze systematických chyb a analýze nejistot celého měřicího řetězce došlo ke zpřesnění kalibrací vysokoohmových odporů a byla zavedena nová služba kalibrace vysokoohmových mostů s měřicím rozsahem minimálně od 100 kΩ až do 100 MΩ s relativními nejistotami od $0,05 \cdot 10^{-6}$. Ověření nejistot proběhlo interním porovnáním dvou nezávislých metod měření. Služba je již využívána pro zákaznické kalibrace, bude se žádat o úpravu CMC ČMI v CIPM MRA.

Úkol splněn.

- ii. Zavést nový obor kalibrace měřičů povrchového izolačního odporu pro izolační materiály a antistatické textilie.

Termín: 12/2020

V rámci plnění úkolu byla provedena rešerše metod měření povrchového izolačního odporu pro izolační materiály a antistatické textilie a souvisejících norem. Byl stanoven kalibrační postup na kalibraci měřičů povrchového izolačního odporu pro izolační materiály a antistatické textilie včetně řetězců speciálních měřicích sond pro měření povrchového odporu. Bylo doplněno vybavení laboratoře o kalibrační přípravek Electro-Tech System 809B a zkušební sondu, následně sestaveno pracoviště s dodržáním požadavků norem řady ČSN EN 61340 pro měření povrchového odporu kruhovými sondami. Funkčnost pracoviště byla ověřena zkušebním měřením.

Úkol splněn.

c) V oboru metrologie nf střídavého napětí je cílem:

- i. Vybudovat návaznost střídavého napětí do kmitočtu 1 kHz na PJVS.

Termín: 12/2021

V rámci plnění úkolu byl zprovozněn kvantový etalon střídavého napětí na základě programovatelného Josephsonova čipu. Etalon byl otestován, byly proměřeny parametry čipu a byly zkalibrovány zkušební přístroje, dále byl vytvořen postup pro kalibraci kalibrátorů střídavého napětí v rozsahu do frekvence 1 kHz a amplitudy 10 V (7 V rms).

Vybraný kalibrátor byl opakovaně proměřen v daném rozsahu k určení stability měření. Byly určeny nejistoty měření na základě vlastností čipu, použité vzorkovací karty a vlivu okolního šumu. Nová metoda kalibrace umožnila podstatné zrychlení kalibrací kalibrátorů.

Úkol splněn.



Obrázek 4 - Programovatelný etalon
střídavého napětí (PJVS)

d) V oboru metrologie stejnosměrných proudů je cílem:

- i. Zpřesnit metrologické zajištění velmi malých ss proudů (< 1 nA).
Termín: 12/2018

Byly pořízeny vysokoohmové etalonové odpory jmenovitých hodnot 100 GΩ a 1 TΩ. Byly odzkoušeny různé možnosti zapojení měřicích obvodů pro nepřímé generování a měření malých proudů až do hodnoty 1 pA za použití vysokoohmových etalonů odporu, přesných zdrojů napětí a přesných multimetrů. Byly odzkoušeny různé možnosti zemnění a stínění včetně použití triaxiálních vodičů. Dále byla provedena validace výpočtu nejistot a stanovení CMC. Na základě dosažených výsledků byla vypracována metodika 611-MP-C034 „Kalibrace měřidel a zdrojů malých stejnosměrných proudů v rozsahu 1 pA – 10 μA“. V současné době probíhá její validace v rámci přípravy na zařazení pod akreditaci laboratoře.

Úkol splněn.



Obrázek 5 - Etalony odporu Measurements International 10 GΩ - 1 TΩ

- ii. Zpřesnit metrologické zajištění proudů v rozsahu 20 A až 100 A.
Termín: 12/2019

Byl pořízen transkonduktanční zesilovač Fluke 52120A umožňující generování stejnosměrných proudů až do 120 A. Byly navrženy a vyrobeny speciální proudové bočníky s nominálními rozsahy 20 A, 50 A a 100 A. Kromě kalibrace jejich stejnosměrného odporu byla provedena i měření teplotní závislosti a výkonové závislosti. Na základě získaných výsledků byla provedena validace výpočtu nejistot a stanovení nových CMC. Nová hodnota CMC pro rozsah (20 až 100) A je 0,0030 % pro generování proudu a 0,0020 % pro měření proudu. Nové CMC byly akreditovány a schváleny též v rámci CIPM MRA.

Úkol splněn.



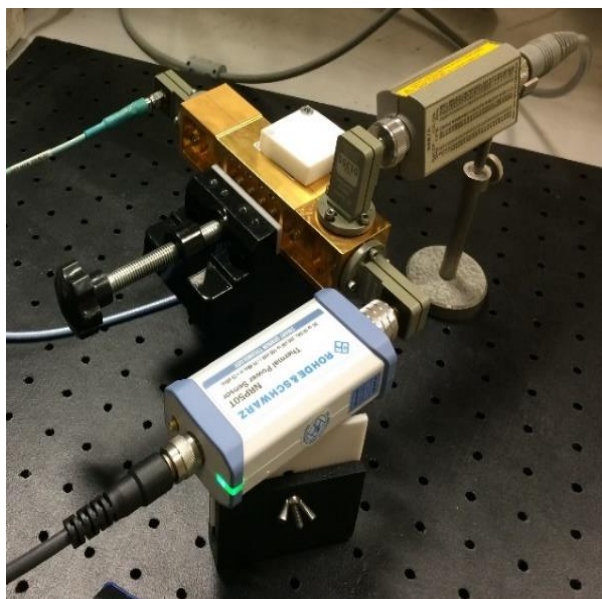
Obrázek 6 - Transkonduktanční zesilovač 52120A

- e) V oboru metrologie vf elektrických veličin je cílem:

- i. Rozšířit kmitočtový rozsah státního etalonu vf elektrického výkonu do 50 GHz.
Termín: 12/2019

V průběhu roku 2019 bylo doplněno potřebné vybavení a zajištěna metrologická návaznost, aby bylo možno provádět měření výkonu a kalibračního faktoru výkonových čidel v dosud nepokrytém kmitočtovém pásmu 40 GHz až 50 GHz. Měření je možno provádět na vlnovodu R400 a na konektorech 2,4 mm. V rámci Úkolu technického rozvoje byla provedena řada experimentů a srovnávacích měření prokazujících správnost zvoleného způsobu řešení.

Úkol splněn.



Obrázek 7 - Měřicí sestava pro kalibraci výkonových čidel s konektory 2,4 mm do kmitočtu 50 GHz

- ii. Rozšíření kmitočtového rozsahu státního etalonu vř činitele odrazu a přenosu ze stávajících 26,5 GHz na 50 GHz.

Termín: 12/2020

V letech 2018 – 2019 byla zajištěna návaznost pro vlnovod R400 do kmitočtu 50 GHz na základě měření rozměrů vzduchové linky, která slouží jako vypočitatelný etalon. V roce 2020 byly vybrány a zakoupeny tři vzduchové linky (dle PL 44/2020) vhodné pro zlepšení nejistoty navázání pro měřicí bránu s konektorem 2,4 mm „female“. Tyto linky byly charakterizovány na základě měření rozměrů v Oddělení technické délky ČMI. Modelováním byly stanoveny elektrické vlastnosti linek a bylo úspěšně ověřeno jejich použití při charakterizaci bezodrazové zátěže. Na základě dosažených výsledků byla připravena dokumentace k vyhlášení změn státního etalonu vř činitele odrazu a přenosu.

Úkol splněn.



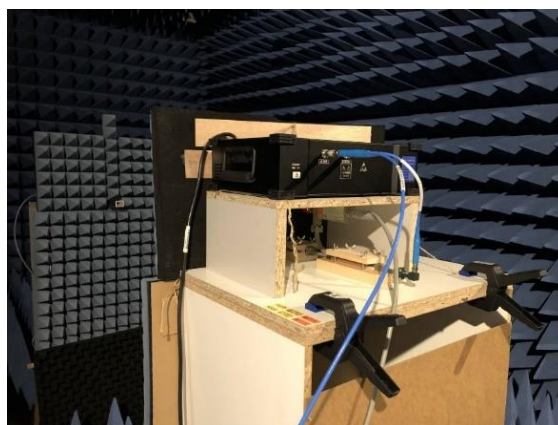
Obrázek 8 - Sada etalonových linek pro kmitočty do 50 GHz s vypočitatelnými vlastnostmi

- iii. Rozšíření kmitočtového rozsahu státního etalonu intenzity vř elektromagnetického pole do 40 GHz.

Termín: 12/2021

V letech 2019 a 2020 bylo na základě provedeného rozboru specifikováno a pořízeno základní vybavení, jehož hlavní součástí jsou trychtýřové antény a směrové odbočnice pro kmitočtová pásma 18 GHz až 26,5 GHz a 26,5 GHz až 40 GHz odpovídající pravoúhlým vlnovodům R220 a R320. Cílem prací pro rok 2021 bylo navrhnout doplnění vybavení, aby bylo možno zajistit generování intenzity pole o dostatečné velikosti pro kalibraci obvyklých měřidel intenzity pole, tj. řádově desítek voltů na metr. Hlavní pozornost byla věnována výběru vhodného výkonového zesilovače. Rozborem se došlo k požadavku na minimální výstupní výkon zesilovače 3 W při odstupu vyšších harmonických složek minimálně 20 dB. Návrh uspořádání pracoviště byl podřízen ztrátám dostupných kabelů. Vybavení laboratoře bylo rozšířeno o výkonový zesilovač RAMP18G40GA2 výrobce RF-Lambda a další komponenty. Experimentálně bylo ověřeno, že je možno ve vzdálenosti 1 m od ústí vysílací antény generovat v závislosti na kmitočtu vypočitatelnou intenzitu pole o maximální velikosti od 60 V/m přibližně do 100 V/m.

Úkol splněn.



Obrázek 9 - Výkonový zesilovač a sady trychtýřových antén s odbočnicemi a přechody

- f) V oboru metrologie střídavých proudů je cílem:
- i. Rozšířit měření stupnice AC-DC difference proudů v rozsahu 10 mA až 1 A až do kmitočtu 1 MHz.
Termín: 12/2020

V listopadu roku 2016 bylo provedeno úspěšné dvoustranné porovnání s BEV na 10 mA na kmitočtech až do 1 MHz, při kterém byla validována vlastní návaznost realizovaná v rámci předchozí koncepce rozvoje NMS pomocí vypočitatelného etalonu SJTC. Poté byla prvotně odvozena stupnice AC-DC difference proudů do 1 MHz a v roce 2018 bylo provedeno další úspěšné porovnání na 100 mA s BEV, INRIM a RISE. Následně pak byly zkalibrovány etalony ČMI v rozsahu 10 mA

až 1 A při kmitočtech (200; 500; 700 a 1000) kHz. Současně byla také doplněna metodika 611-MP-C092. Byly též připraveny příslušné CMC, které budou podány v nejbližším možném termínu podle instrukcí TCEM EURAMET.

Úkol splněn.

g) V oboru metrologie elektrické impedance je cílem:

- i. Vývoj a realizace digitálních vzorkovacích dvou párových impedančních můstků pro extrémní hodnoty impedance v plně komplexní rovině pro oblast elektrochemie (konduktometrická spektrometrie).

Termín: 12/2019

Byl vyvinut prototyp můstku určený pro měření elektrolytické impedance. Realizovaný můstek byl optimalizován především pro kmitočty do 1 kHz a impedance nad 10 k Ω , kde se vyskytuje hlavní oblast zájmu při měření v oblasti konduktometrie. Můstek je schopný měřit v plně komplexní rovině. K můstku bylo vyvinuto korekční schéma založené na referenčních etalonech odporu. Funkčnost byla testována měřením známých impedancí s chybami do řádu maximálně desítek ppm, což je pro daný účel plně dostačující. Prototyp zároveň umožňuje přepínat dvě impedance, takže je využitelný i pro přímé měření diferenční konduktometrickou cellou.

Úkol splněn.

- ii. Vývoj a realizace digitálních vzorkovacích impedančních můstků pro kalibrace etalonů impedance pod 10 Ω v plně komplexní rovině do 100 kHz.

Termín: 12/2020

Byl realizován digitální vzorkovací můstek pro rozsah do 100 kHz a bylo navrženo korekční/kalibrační schéma umožňující jeho provoz minimálně do 1 MHz, můstek je schopen měřit impedance od 0 do cca 100 k Ω a na základě tohoto můstku již byly získány CMC do 100 kHz, dále mezinárodní porovnání kalibrace proudových bočníků s tímto můstkem budou základem nových CMC až do kmitočtu 1 MHz (nyní v procesu schvalování v rámci CIPM MRA).

Úkol splněn.



Obrázek 10 - Generátorová karta National Instruments PXI-6733

- iii. Výzkum možností realizace primární metrologické návaznosti etalonů impedance v oblasti mezi LF a RF kmitočty v oblasti 20 kHz až 100 MHz.
Termín: 12/2021

V rámci výzkumu bylo provedeno numerické a analytické modelování potenciálně využitelných etalonů elektrické impedance pro realizaci primární návaznosti v oblasti mezi LF a RF kmitočty. Jednalo se o etalony elektrického odporu a kapacity s koaxiální geometrií, jejichž parametry jsou odvoditelné od základních jednotek SI a fundamentálních konstant. Podle typu cílové aplikace byly uvažovány 1-TP i 4-TP etalony. V první fázi se porovnaly výstupy modelů z nezávislých programů pracujících na rozdílných principech ANSYS HFSS a CST. V další fázi došlo k podrobnější modelaci etalonů v ANSYS HFSS včetně konektorového rozhraní etalonů a porovnání s analytickými výpočty pomocí Besselových rovnic. V poslední fázi došlo k porovnání modelů vybraného demonstračního etalonu kapacity s reálnými měřeními na VNA. Na základě analýz byly stanoveny kmitočtové limity jednotlivých typů etalonů (4-TP etalony kapacity do 30 MHz a 1-TP etalony odporu do 100 MHz s přesností v řádu jednotek procent). Podle získaných poznatků byla navíc navržen nový 1-TP etalon odporu s vypočitatelnou kmitočtovou závislostí, pokrývající celý kmitočtový rozsah do 100 MHz s dosažitelnou přesností odporové složky impedance v řádu desetin procenta.

Úkol splněn.

- h) V oboru metrologie elektrických signálů je cílem:

- i. Rozšířit digitální měření fáze pro kmitočtovou oblast do 100 MHz.
Termín: 12/2019

Etalon fázového posuvu byl realizován technikou prokládání navzorkovaných průběhů napětí. V minulosti byl pro tento účel používán jednoúčelový SW vyvinutý pro práci s digitizéry National Instruments 5922. To limitovalo frekvenční rozsah asi do 1 MHz. V rámci řešení EMPIR projektu TracePQM byl realizován univerzální SW TWM, do kterého byly přesunuty stávající prokládací algoritmy pro měření fáze a dále byly implementovány a numericky validovány další alternativní algoritmy použitelné ke stejnému účelu. Pro dosažení cílového kmitočtu 100 MHz byl nástroj TWM rozšířen o podporu digitálních osciloskopů Keysight. Konkrétně je nyní používán model DSO0604, který umožňuje vzorkovat až 20 GSa/s, tj. dosažitelná šířka pásma pro účely měření fáze je nyní až 6 GHz. Limitujícím faktorem vyvinutého fázoměru je přeslech mezi kanály osciloskopu, přičemž pro měření při poměru napětí do 10:1 je rozšířená nejistota měření pod $\pm 0.03^\circ$ pro 100 MHz.

Úkol splněn.

i) V oboru metrologie elektrického výkonu a práce je cílem:

- i. Zpřesnit metrologické zajištění měření elektrického výkonu pomocí digitálních vzorkovacích metod pro kmitočty nad 1 kHz.

Termín: 12/2018

Byl vyvinut vzorkovací měřicí systém pro měření výkonu pomocí vzorkovacích karet National Instruments PXI 5922 s šířkou pásma cca do 1 MHz. Dále byly vyvinuty kalibrační metody pro převodníky napětí a proudu a pro kalibraci vzorkovací karty 5922 pro kmitočtový rozsah do 1 MHz. Bylo provedeno mezinárodní porovnání pro ověření daných metod, numerická validace výpočetní části měřicího systému a modelování vstupních obvodů s cílem validovat kompletní měřicí systém. Dále proběhla validace systému do 1 MHz porovnáním s jinými metodami měření.

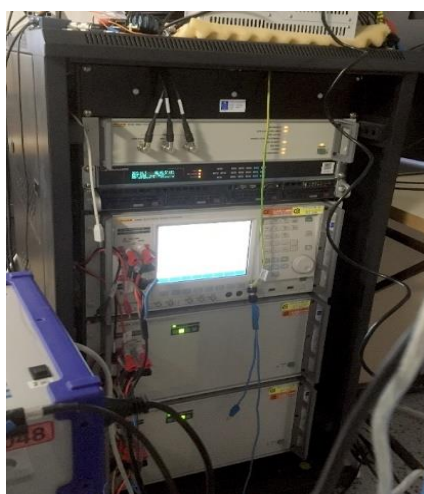
Úkol splněn.

- ii. Vybudovat metrologické zabezpečení pro kalibrace měřidel fázoru (PMU).

Termín: 12/2021

Metrologické zabezpečení měřidel fázoru umožní kalibrace měřidel fázoru (PMU), které jsou potřebné pro stabilitu elektrické přenosové soustavy. Ke splnění cíle byl nejprve pořízen třífázový kalibrátor s návazností na absolutní čas. Amplitudová kalibrace kalibrátoru byla provedena v rámci již zavedených metodik. Kalibrace samotného fázoru byla uskutečněna pomocí transfer etalonu času s návazností na státní etalon času a pomocí nově vyvinuté metody vzorkování dvoukanalovým digitizérem. Nová metoda využívá současného vzorkování signálu etalonu času a signálu kalibrátoru fázoru. Navzorkovaná data byla vyhodnocena nově vyvinutým algoritmem v ČMI. Dosažené nejistoty měření jsou dostatečné pro plnou kalibraci kalibrátoru fázoru s návazností na etalony střídavého napětí a etalon času.

Úkol splněn.



Obrázek 11 - Kalibrátor měřidel fázoru
(PMU) Fluke 6135A

j) V oboru metrologie magnetických veličin je cílem:

- i. Vypracovat analýzu možnosti zajištění návaznosti etalonů magnetického toku na primární etalony elektrických veličin.

Termín: 12/2020

V rámci zlepšení a zefektivnění kalibrace státního etalonu magnetického toku byla v rámci úkolu TR 2019 vypracována analýza možnosti zajištění návaznosti jednotlivých členů etalonu magnetického toku na primární etalony elektrických veličin. Byla realizována metoda měření vzájemné indukčnosti z napětí indukovaného na sekundárním vinutí etalonu při proudu procházející primárním vinutím měřeného na etalonu odporu při nízké frekvenci (16 Hz nebo 32 Hz), který je zapojen do série s primárním vinutím etalonu toku. Pro měření sekundárního napětí a primárního proudu byly použity dva multimetry 3458A. Byl vytvořen měřicí software v prostředí LabWindows CVI 9.0. Pro zvýšení přesnosti měření napětí při uvedených frekvencích byl v daném softwaru navíc aplikován Swerleinův algoritmus. Z výsledků měření je patrné, že při použití dané metody a vybavení je možné dosáhnout rozšířené nejistoty 182 ppm (při použití SW bez Swerleina algoritmu) popř. rozšířené nejistoty 50 ppm (při použití SW se Swerleinovým algoritmem). Rozdíly od DC hodnoty zjištěné interním porovnáním byly 25 ppm (bez Swerleina algoritmu) resp. 109 ppm (se Swerleinovým algoritmem). Bylo tak prokázáno, že testovaná metoda je vhodná pro kalibrace členů státního etalonu magnetického toku.

Úkol splněn.

IV. Metrologie v chemii a biologii

Metrologie v chemii (metrologie látkového množství) zasahuje např. do petrochemie, zemědělství, potravinářství, zpracování odpadů, zdravotnictví, klinické biochemie, ale i např. do hutního průmyslu, kde produkce směřuje k výrobě vysoce kvalitních materiálů podmíněně špičkovou měřicí technikou. V této oblasti bude metrologie využívat decentralizovaný systém metrologického zabezpečení. V ČMI je volena cesta relativně úzké specializace.

Koncepce rozvoje metrologie v chemii a biologii je rozdělena do oblastí:

- a) Metrologie plyných směsí
- b) Metrologie fyzikálně chemických veličin

a) V oblasti metrologie plyných směsí jsou hlavní cíle zaměřeny na:

- i. Vybudování pracoviště pro analýzu vyšších uhlovodíků v zemním plynu (pro uhlovodíky až do C12) včetně zajištění gravimetrické přípravy jejich referenčních materiálů

Termín: 12/2018

V rámci úkolu TR byla vypracována metoda přípravy a analýzy zemního plynu obsahujícího tzv. vyšší uhlovodíky (tj. uhlovodíky od heptanu do dodekanu). Uvedené vyšší uhlovodíky se vyskytují v přepravovaném zemním plynu a při relativně nízkých koncentracích (řádově $\mu\text{mol}/\text{mol}$) mohou způsobovat provozní problémy během přepravy v tranzitním plynovodu (kondenzát může poškodit měřicí přístroje, plastová potrubí regulačních čidel apod.). Analyticky stanovený obsah vyšších uhlovodíků také zpřesňuje výpočet spalného tepla přepravovaného zemního plynu pomocí normy ISO 6976 a výpočet rosného bodu vyšších uhlovodíků (HCDP). V rámci úkolu TR byly připraveny plyné referenční materiály s obsahem vyšších uhlovodíků v koncentracích od $50 \mu\text{mol}/\text{mol}$ pro n-heptan až po $1 \mu\text{mol}/\text{mol}$ u n-dodekanu. Analýzy byly provedeny na nově dodaném plynovém chromatografu DANI Master, který je vybaven plamenově ionizačním detektorem (FID) pro stanovení nízkých koncentrací uhlovodíků v analyzovaném vzorku plynu a tepelně vodivostním detektorem pro stanovení vyšších koncentrací uhlovodíků a inertních plynů, které nelze stanovit na FIDu. Analytická metoda pro komplexní složení zemního plynu s obsahem vyšších uhlovodíků trvá 25 minut a teplota pece se pohybuje od 40°C na začátku analýzy do 250°C na konci analýzy. Zkušební a kontrolní měření vykazují dobrou shodu mezi gravimetricky zjištěným složením připravené plyné směsi se složením zjištěným pomocí analytické metody. Gravimetrickou přípravu plyných směsí je možné použít jako zdroj návaznosti při detailní analýze zemního plynu obsahujícího vyšší uhlovodíky do n-nonanu resp. do n-dodekanu. Referenční materiál s obsahem vyšších uhlovodíků lze použít jako interní kalibrační plyn pro kalibraci procesního plynového chromatografu. Oddělení 1012 může gravimetricky připravené referenční materiály použít při kalibraci měřícího zařízení pro stanovení rosného bodu vyšších uhlovodíků.

Úkol splněn.

ii. Vypracování metody pro analýzu a gravimetrickou přípravu referenčních materiálů zemního plynu s obsahem vodíku a kyslíku

Termín: 12/2019

Laboratoř plyných směsí se zaměřila na stanovení v současné době nestandardních minoritních složek v zemním plynu. Úkol byl řešen v rámci ÚTR 17101402 a 19101406. Při řešení uvedené problematiky jsme se nejprve věnovali gravimetrické přípravě vhodných referenčních materiálů s uvedenými minority. Po přípravě vhodných referenčních materiálů jsme se zaměřili na stanovení pomocí plynového chromatografu (vývoj a optimalizace metody). Uvedené minoritní složky včetně helia jsou nyní zákazníky vyžadovány při zajišťování metrologie pro procesní plynové chromatografy – stanovené měřidlo (analýza interních kalibračních plynů a ověřování PGC). Během minulého roku byli při typovém schválení využity gravimetricky připravené referenční materiály s uvedenými minority.

Úkol splněn.



Obrázek 12 - Plynový chromatograf pro analýzu zemního plynu s obsahem vodíku, kyslíku, helia a uhlovodíků do C12

b) V oblasti metrologie fyzikální chemie je cílem:

i. Vyhlášení státního etalonu elektrolytické konduktivity v rozsahu (0,01 - 10) S·m⁻¹.

Termín: 12/2018

Zpráva nutná k vyhlášení státního etalonu elektrolytické konduktivity byla odevzdána v září 2018. Oponentní řízení proběhlo 3.12 2018 a rada pro metrologii doporučila návrh ČMI na schválení etalonu za státní etalon 4.12 2018. Rozhodnutí Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví schvalující etalon elektrolytické konduktivity jako státní etalon bylo vydáno 3.1 2019.

Schválenému státnímu etalonu elektrolytické konduktivity bylo přiděleno kódové označení ECM 331-1/19-061.

Úkol splněn.

- ii. Vyhlášení státního etalonu na principu coulometrie pro oblast látkové množství.
Termín 12/2021

Laboratoř primární metrologie fyzikální chemie se v roce 2018 zúčastnila porovnání „CCQM-K73.2018 Látkový obsah H^+ v kyselině chlorovodíkové ($\sim 0,1 \text{ mol.kg}^{-1}$)“. Metodou stanovení byla coulometrická titrace na vysoce přesném coulometrickém zařízení. V říjnu 2020 byla vydána zpráva B z klíčového porovnání, na jejíž základě ČMI požádalo o nový CMC řádek v databázi KCDB. V dubnu 2021 byla žádost o nový CMC řádek pro oblast anorganických sloučenin po proběhlé revizi přijata kladně.

Úkol splněn.

V. Metrologie průtoku a objemu tekutin

Do tohoto významného oboru spadá měření průtoku a objemu kapalin a zkapalněných plynů (zejména voda, kapalné potraviny, ropa, ropné produkty a další). V oblasti plynů je to zejména měření protečeného objemového nebo hmotnostního množství plynu, průtoku plynu a také anemometrie. Návazná měření v ČR se významně týkají regulované sféry.

a) Metrologie průtoku a objemu kapalin

- i. Rozšíření rozsahu laboratoře primární metrologie průtoku a proteklého množství vody v oblasti průtoku a teploty, snížení nejistoty měření
Termín: 12/2019

Byla realizována výstavba nové části laboratoře a nového primárního etalonu proteklého množství vody. Navrhovaný etalon průtoku je v rozsahu (0,0005 až 60) m^3/h se stabilitou průtoku lepší jako 1 % a teploty vody (10 až 85)°C. Do průtoku 5 m^3/h je možné použít nově zavedenou primární objemovou metodu s pístem, v rozsahu průtoku (2 až 60) m^3/h hmotnostní metodu s váhami. Kombinace těchto dvou metod umožňuje návaznost na dvě základní jednotky (délka, hmotnost) a kontrolu metrologických parametrů etalonů v prolínajícím se rozsahu. ČMI tak disponuje i možností provádět návaznost měření v oblasti teplé vody. Dále pokračovaly zkoušky s cílem stanovit nejistoty měření a porovnat jednotlivé metody a v rámci mezinárodního porovnání a porovnání s dalšími etalony. Měření pro mezinárodní porovnání byla ukončena a očekávají se výsledky. Porovnání s dalšími etalony ČMI byla provedena a vyhodnocena s kladným výsledkem v rámci úkolů technického rozvoje. Laboratoř průtoku vody rozšířila působnost primární metrologie průtoku i do oblasti teplé vody, přičemž předpokládané nejistoty měření zařadily laboratoř na vyšší úroveň. Vzhledem k situaci v okolních státech laboratoř průtoku vody působí ve funkci stabilního technického zázemí pro měření nejen vody, ale slouží i pro měřidla pro kapaliny jiné jako voda, které mohou být vodou kalibrovány. Předpokládá se porovnatelnost úrovně s evropskými metrologickými instituty, kde se nejistota pohybuje pod 0,05 %.

Úkol splněn.



Obrázek 13 - Primární etalon průtoku vody s pístem

- ii. Vybudování mobilní sady sekundárních etalonů pro zabezpečení zkoušek v oblasti certifikace měřicích systémů pro kontinuální a dynamické měření množství kapalin jiných než voda a v oblasti ověřování a certifikace výdejních stojanů CNG.

Termín: 12/2021

K termínu 12/2021 je v oblasti zkoušek pro certifikaci měřicích systémů pro kontinuální a dynamické měření množství kapalin jiných než voda a v oblasti ověřování výdejních stojanů CNG ve funkci sekundárních etalonů aktivně využíváno 6 hmotnostních průtokoměrů na principu Coriolisovy síly. Typově se jedná o hmotnostní průtokoměry CMF XXX M výrobce Micro Motion. Konkrétně pro kryogenní kapaliny a LNG jsou využívány hmotnostní průtokoměry CMF 200 M a CMF 050 M s metrologickou návazností zahrnující kryogenní kapaliny. Tyto sekundární etalony v současnosti plně pokrývají potřeby měření kryogenních kapalin v oblasti legální metrologie v ČR, což zahrnuje zejména cisterny pro kryogenní kapaliny a výdejní stojany LNG. Pro stejné účely jsou tyto etalony používány také v rámci činnosti oznámeného subjektu při posuzování shody pro uvádění měřidel na trh. Pro měření LPG, minerálních olejů a dalších kapalin na bázi uhlovodíků, je využívána dvojice průtokoměrů CMF 100 M jako sekundárních etalonů a dále průtokoměr CMF 200 M jako sekundární etalon. Tyto etalony jsou opět využívány také v rámci činnosti oznámeného subjektu při posuzování shody pro uvádění měřidel na trh. Pro oblast ověřování a certifikace výdejních stojanů CNG je využíván průtokoměr CMF 050 M jako sekundární etalon. Použití tohoto etalonu zefektivňuje proces ověřování výdejních stojanů CNG jednak z hlediska rychlosti provedení výkonu a dále z hlediska vypouštění zkušebního média do atmosféry, což má pozitivní ekonomické přínosy pro uživatele výdejních stojanů CNG dále pozitivní přínosy z hlediska environmentálního a také z hlediska bezpečnostního. V 11/2021 navíc proběhla úspěšná akreditace za účasti mezinárodního experta OIML pro zařazení ČMI do certifikačního schématu A pro zkoušky podle doporučení OIML R139:2018, přičemž zkoušky za použití CNG jsou prováděny za použití výše uvedeného etalonu.

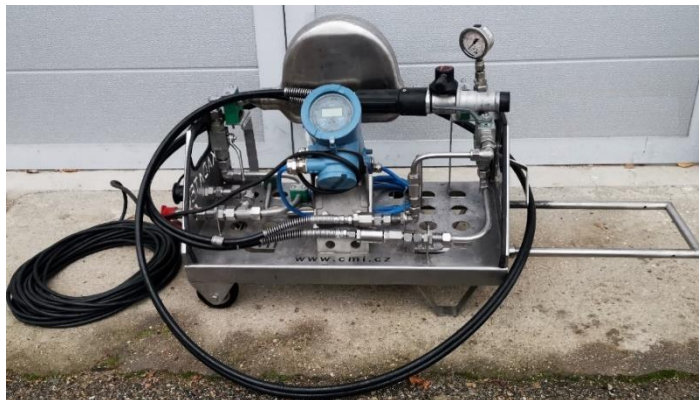
Úkol splněn.



Obrázek 14 - Hmotnostní průtokoměry CMF 200 M a CMF 050 M pro kryogenní kapaliny a LNG (zleva)



Obrázek 15 - Hmotnostní průtokoměry CMF 200 M a CMF 100 M pro minerální oleje, LPG a jiné kapaliny na bázi uhlovodíků (zleva)



Obrázek 16 - Hmotnostní průtokoměr CMF 050 M pro CNG

b) Metrologie průtoku a objemu plynu

- i. Realizace státního etalonu v oboru anemometrie na principu taženého vozíku v rozsahu (0,05 - 0,5) m/s.
Termín: 6/2018

Etalon rychlosti proudění vzduchu v rozsahu (0,05 – 0,5) m/s slouží ke kalibracím anemometrů v tomto rozsahu, které se používají zejména v oblasti čistých prostor, vzduchotechniky a měření netěsností. Zařízení sestává z tubusu obsahujícího klidný vzduch, kterým je zkoušený anemometr tažen definovanou, metrologicky navázanou rychlostí. Tubus a uložení tažného mechanismu byly vyrobeny na ČMI. Samotný tažný mechanismus je realizován lineární osou

HIWIN LMU220-23 s lineárním motorem LMS23 a systém odměřování je realizován optickým inkrementálním lineárním enkodérem RENISHAW se čtecí hlavou TONiC T1000 a optickým pásmem RGSZ20 s dílkem 20 μm . Tažná trať byla dobudována v roce 2017. Byl vytvořen pracovní postup 615-MP-C149, který obsahuje matematický model výpočtu nejistoty měření. CMC tohoto etalonu byla stanovena na 0,005 m/s + 0,5 % nastavené rychlosti. Pracovní postup s nejistotami byl validován mezilaboratorním porovnáním Euramet F1450, které proběhlo v roce 2018 s účastí ČMI, BEV/E+E (Rakousko), CETIAT (Francie), DTI (Dánsko) a METAS (Švýcarsko) s velmi dobrými výsledky ČMI. Laboratoř anemometrie na principu tažného vozíku byla v roce 2019 akreditována. Podklady k vyhlášení státního etalonu byly podány v roce 2018. Následně bylo rozhodnuto o změně způsobu vyhlášení etalonu – nemá se jednat o samostatný etalon, ale o rozšíření rozsahu stávajícího státního etalonu rychlosti proudění vzduchu č. ECM 160-1/14-055. Přepracované podklady k rozšíření rozsahu státního etalonu, které budou obsahovat i výtah z výsledné zprávy z EURAMET porovnání F1450, budou připraveny v roce 2022.

Úkol splněn.

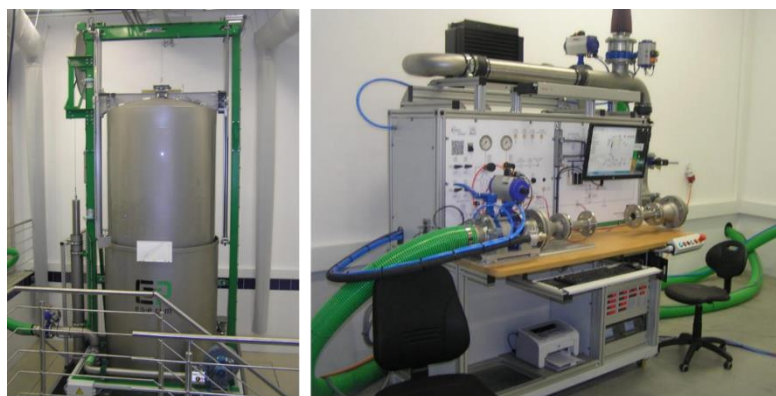


Obrázek 17 - Primární etalon rychlosti proudění vzduchu na principu tažné tratě

- ii. Realizace státního etalonu v oboru průtok plynů zvaného Bell Prover v rozsahu průtoků (1 - 250) m³/h s nejistotou měření menší než $U_{(k=2)} = 0,10$ %.
Termín: 12/2018

Práce na vyhlášení tohoto státního etalonu byly dokončena v roce 2017 a následně předložena požadovaná dokumentace k vyhlášení tohoto státního etalonu. Jak je uvedeno v Oznámení č. 9/2018, které vydal ÚNMZ, zařízení Bell Prover je již státním etalonem.

Úkol splněn.

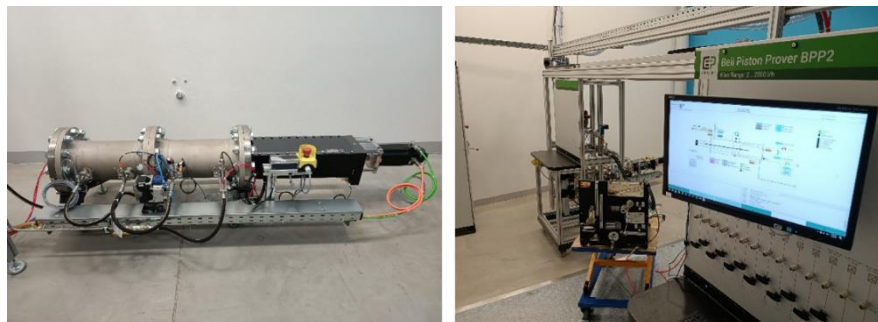


Obrázek 18 - Bell Prover a jeho řídicí pult

- iii. Realizace státního etalonu v oboru průtok plynu v rozsahu minimálně (0,04 - 4) m³/h s nejistotou měření menší než $U_{(k=2)} = 0,10 \%$.
Termín: 12/2021

V roce 2017 byla vypracována specifikace jak v češtině, tak v angličtině, pro vyhlášení výběrového řízení na dodávku nového státního etalonu. Vzhledem k tomu, že se jedná o jedinečné zařízení používané jen ve špičkových NMI, nebyla bohužel ve výběrovém řízení předložena žádná nabídka. Ve výběru nového státního etalonu založeném na principu Bell-Piston Prover se tak pokračovalo v roce 2018. V novém výběrovém řízení, které bylo řešeno ve formě „jednacího řízení s uveřejněním“ byla vybrána firma EP Ehrler Prüftechnik Engineering GmbH. V roce 2019 se řešitel úkolu podílel na vypracování smlouvy a technických příloh smlouvy. Dále se v roce 2019 uskutečnily dvě návštěvy zástupců dodavatelské firmy, jedna v Praze a druhá v Pardubicích, kde se ujasňovaly technické a metrologické specifikace, prostorové a další požadavky na instalaci. Z toho vznikly i požadavky na stavební úpravy na OI ČMI Pardubice, jelikož se změnila orientace pístu z vertikální na horizontální – tyto úpravy byly bezprostředně realizovány. K podepsání smlouvy došlo 3. 3. 2020 s termínem dodání do konce roku 2020. To ovšem nebylo splněno, výrobce se omluvil, že má zpoždění dané pandemií COVID-19. Přislíbena byla dodávka v první polovině roku 2021, ovšem opět došlo i přes urgence ČMI ke zpoždění. Dílčí přebírací zkoušky (FAT factory acceptance tests) proběhly online přes skype až v srpnu 2021. Na OI ČMI Pardubice byl Bell-Piston Prover dovezen a naistalován na konci září 2021 s tím, že s dodavatelem se řeší některé závady a nedodělky (technická dokumentace), na jejichž odstranění dodavatel a řešitel úkolu intenzivně pracují. Úkol realizace tohoto jedinečného zařízení byl, i s přihlédnutím ke složité situaci v době Covidu, splněn. Vyhlášení státního etalonu se plánuje na konci prvního čtvrtletí 2022.

Úkol splněn.



Obrázek 19 - Bell Piston Prover

VI. Metrologie teploty, vlhkosti a termálních veličin

Měření teploty je důležité pro širokou škálu oblastí a aplikací v průmyslu (metalurgie, chemie a biochemie, kvantová výpočetní technika), ve zdravotnictví a v životním prostředí (monitorování a poskytování klimatu a klimatické změny v ovzduší, půdy a vody). Tento obor v ČR zajišťuje metrologické služby v oblasti kontaktního i bezkontaktního měření teploty, kalibrace teploměrů, kalibrace celých měřicích řetězců, obdobně pak i v oboru vlhkosti. S oborem teploty bezprostředně souvisí také metrologie tepla (energie) a termofyzikálních vlastností materiálů.

Koncepce rozvoje měření tepelně-technických veličin je rozdělena do následujících základních kategorií.

- a) Kontaktní termometrie
- b) Bezkontaktní termometrie
- c) Měření vlhkosti pevných látek a plynů
- d) Měření termofyzikálních vlastností materiálů

a) V oboru kontaktní termometrie je cílem:

- i. Vybudování systému mezilehlých a alternativních bodů pro realizaci teplotní stupnice v rozsahu od trojného bodu argonu do bodu tuhnutí mědi.
Termín: 12/2018

Účelem realizace mezilehlých a alternativních pevných bodů je poskytnout možnost většího množství kalibračních bodů při menších hodnotách nejistoty kalibrace oproti interpolaci, či kalibraci porovnáním. V roce 2009 byly zakoupeny otevřené pevné body Al a Cu a mobilní systém argonového hospodářství, které umožňují volbu tlaku daného plynu uvnitř těchto bodů či jejich evakuování. Vedle tohoto systému byl zakoupen také laminární box, který umožňuje sestavení pevných bodů vlastními silami ve sterilním prostředí s laminárním prouděním vysoce čistého vzduchu. První pevné body, které takto vznikly, představují několik exemplářů pevného bodu Galia s příměsí nečistot různého složení (In, Sn, Zn, Al, Cu) a množství, což má za následek rozdílné teploty realizace bodů. Tyto body byly zkonstruovány a charakterizovány v rámci EMRP projektu SIB10 NOTED. V roce 2015 byl vytvořen pevný bod CO₂. S teplotou realizace okolo -56,6 °C slouží jako doplnění mezi trojný bod Hg a

trojný bod Ar. Bod je provozován v kryostatu a vzhledem k celosvětové vzácnosti výskytu tohoto bodu je plánováno uspořádání porovnání kyvet CO₂ mezi ČMI, Francouzským LNE a Tureckým TUBITAK, kteří body CO₂ také vlastní. V roce 2017 vznikl systém plynového hospodářství s fixní polohou. Ten umožňuje plynové hospodářství otevřených pevných bodů, které jsou právě provozovány v pecích definičních bodů stupnice ITS-90 v reálném čase. V roce 2018 byly do metodik měření implementovány také tři miniaturní eutektické pevné body, které slouží pro kalibraci termoelektrických článků. Jedná se o Al-Cu (teplota tání 548,16 °C), Ag-Cu (teplota tání 779,63°C) a jednoprvkový bod tání zlata (1064,18 °C). V tomto roce byl také zapracován velký eutektický bod AlCu (548,16 °C), bod tuhnutí Pb (387,5 °C) a trojný bod jodu (114,9 °C). Alternativní pevné body nyní slouží k přímé kalibraci v bodě, či jako prostředí pro kalibraci porovnáním s výraznou redukcí hlavních složek nejistoty měření.

Úkol splněn.



Obrázek 20 - Otevřené pevné body Al a Cu, Eutektický bod AlCu (548,16 °C), Pevný bod olova (387,5 °C), Trojný bod jodu (114,9 °C)



Obrázek 21 - Mobilní systém argonového hospodářství, Pevný bod CO₂ s teplotou realizace okolo -56,6 °C, Systém plynového hospodářství s fixní polohou



Obrázek 22 - Exempláře pevného bodu Galia s příměsí nečistot různého složení (In, Sn, Zn, Al, Cu)

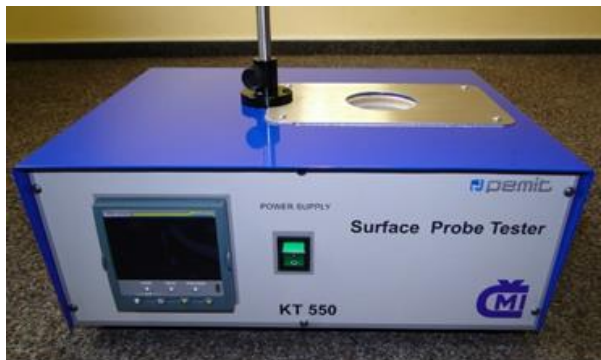
ii. Rozvoj metrologie měření povrchové teploty uživatelsky definovaných materiálů do 850 °C.

Termín: 12/2018

Neuspokojivý stav návaznosti měření teploty povrchu vzhledem k definici povrchu samotného, vedla k potřebě ustanovit systém, pomocí něhož by bylo možné kalibrovat povrchové teploměry se snahou o minimalizaci největších příspěvků nejistoty měření. Vývoj započal již v roce 2012 a návaznost měření teploty povrchu se od původních termoelektrických článků umístěných pod vytápěným hliníkovým povrchem přesunula mimo samotný měřený povrch. Nedostatečný teplotní rozsah (do 350 °C) původně komerčního referenčního hliníkového povrchu vedl ke konstrukci zařízení s vyšším rozsahem (do 550 °C), avšak konstrukčně takřka identickým. Důkladnější průzkum problematiky pak vedl k potřebě přiblížení podmínek kalibrace skutečnému provozu povrchových teploměrů. Vzniklo tak třetí zařízení (do 880 °C) s možností odnímatelných „referenčních vzorků“ volitelného materiálu od vytápěného povrchu. Možnost odnímatelnosti vzorků však vedla k neopakovatelnosti realizace teploty na povrchu. Rozdílné přestupy tepla mezi povrchem a referenčním teploměrem způsobovaly nejednotnost výsledků pro různá zařízení. Termoelektrický článek navíc narušuje teplotní pole svého okolí, a tak byly později zvoleny vzorky bez jímky pro referenční teploměr. Bylo tedy nezbytné měřit teplotu povrchu jinak a k tomu posloužil snímač teploty povrchu vyvinutý v rámci EMPIR projektu 14IND04 EMPRESS, který kompenzuje odvod energie z povrchu stonkem svého senzoru a redukuje tak jednu z hlavních složek nejistoty měření. Celkově tři termostatizovaná zařízení pro kalibraci povrchových teploměrů tak dnes tvoří skupinový etalon teploty povrchu, jehož teplota je měřena touto tzv. „kompenzovanou sondou“.

Povrchové teploměry se tudíž kalibrují porovnáním s tímto referenčním teploměrem. Dále byl vytvořen rozpočet nejistot měření povrchu a úspěšně absolvováno mezinárodní porovnání v rámci projektu EMPRESS.

Úkol splněn.



Obrázek 23 - Zkušební termostatizované těleso pro kalibraci snímačů teploty povrchu s rozsahem do 550 °C, Pemic KT 550

b) V oboru bezkontaktní termometrie je cílem:

- i. Zabezpečení metrologické charakterizace termografických systémů pro detekci úniků plynů.

Termín: 12/2018

Pro zabezpečení metrologické charakterizace termografických systémů pro detekci úniku plynů bylo vybudováno zařízení, které umožňuje simulovat různé okolní podmínky kolem řízeného úniku plynu (teplota, vlhkost a rychlost větru). Základní sestava se skládá z místa úniku na zakřivené kovové ploše, ke které je připojena lahev s testovaným plynem. Průtok plynu je možné řídit a měřit. Dále jsou také monitorovány podmínky okolí, tj. teplota a vlhkost. Na této sestavě je možné provádět testy při normálních okolních podmínkách, kdy je kamera zaměřena na bod úniku a je stanoven minimální detekovatelný (viditelný) únik na obrazovce kamery. V průběhu měření je zaznamenáván průtok a tlak proudícího plynu, okolní podmínky a je vypočten minimální detekční limit kamery pro daný plyn (MLDR). Sestava může být dále provozována v dalších 3 modifikacích. První modifikace umožňuje zkoumat vliv větru na detekční schopnost kamery. Základní sestava je doplněna o simulátor větru, který ovlivňuje bod úniku a anemometr pro měření rychlosti proudění vzduchu. Druhá modifikace umožňuje realizovat změnu okolních podmínek v blízkosti místa úniku. Místo úniku je umístěno do boxu, který je možné temperovat na definovanou teplotu pomocí přívodu přehřátého nebo předchlazeného vzduchu. Během stabilizace požadovaných podmínek je box uzavřen a v něm je monitorovaná teplota a vlhkost. Box má otvor v úrovni úniku, aby bylo možné provádět měření. Poslední modifikace umožňuje zkoumat vliv změny vlhkosti na zařízení MLDR. Kolem místa úniku je opět umístěn box, stejný jako v předchozím případě, ale nyní je do boxu vháněn vzduch s definovanou vlhkostí pomocí generátoru vlhkosti.

Opět jsou sledovány podmínky v blízkosti místa úniku a měření se provádějí otvorem ve stěně boxu. Při prováděných zkouškách je kladen důraz na vysoké bezpečnostní zabezpečení, aby bylo zajištěno bezpečí obsluhy.

Úkol splněn.



Obrázek 24 - Testovací sestava pro zkoušku termokamer detekujících úniky plynů za normálních podmínek, Komora umožňující stabilizaci požadovaných okolních podmínek (teploty a vlhkosti) při testování termokamer detekujících úniky plynů

ii. Rozšíření rozsahu kalibrace bezkontaktních snímačů teploty a termoelektrických článků do 2500 °C.

Termín: 12/2020

Rozšíření rozsahu kalibrace bezkontaktních snímačů teploty a termoelektrických článků do 2500 °C nebylo možné zabezpečit stávajícím laboratorním vybavením ČMI, protože žádné zařízení nebylo schopné s potřebnými generovat teplotu vyšší než 1800 °C. Ke splnění tohoto cíle bylo nutné zakoupit nové zařízení. Byla provedena rozsáhlá mezinárodní rešerše, v rámci které bylo hledané zařízení, ve kterém bude možné zabezpečit návaznost a kalibrace bezdotykových měřidel teploty a termoelektrických snímačů teploty do teploty alespoň 2500 °C. Finálně byla vybrána vysokoteplotní pec Thermogauge od amerického výrobce. Topná zóna pece Thermo Gauge je tvořena grafitovou trubicí, která slouží zároveň jako topný element. Pro účely ČMI (tj. kalibrace bezdotykových teploměřů a termoelektrických snímačů teploty) byly zvoleny topné elementy s průměry (25,4 a 38,1) mm. Realizace investice byla v důsledku pandemie Covid – 19 výrazně opožděna, kdy americký výrobce přislíbil dodávku v náhradním termínu duben 2021. Po dodání zařízení se pokračovalo na plnění úkolu, který byl splněn v srpnu 2021.

Plnění úkolu opožděno, nicméně splněno k 8/2021.



Obrázek 25 - Vysokoteplotní pec Thermo Gauge HT-9500

c) V oboru měření vlhkosti pevných látek a plynů je cílem:

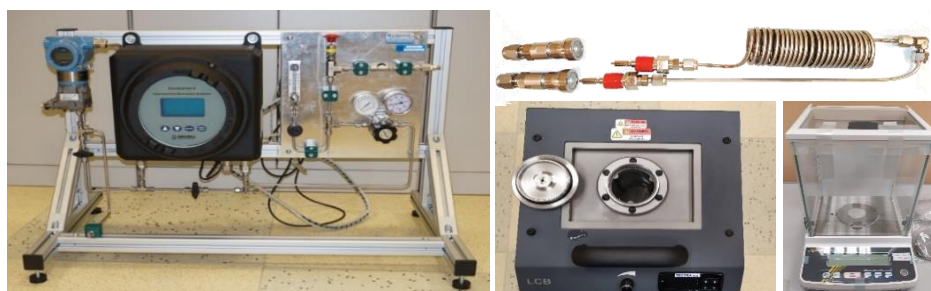
- i. Vybudování laboratoře pro měření rosného bodu vyšších uhlovodíků.

Termín: 12/2020

Laboratoř pro měření rosného bodu vyšších uhlovodíků (HCDP) na oddělení 1012 byla budována od konce roku 2015, kdy byl pořízen přístroj Condumax II, Michell Instruments, pro měření HCDP, do současnosti. První z testů měření HCDP proběhl v roce 2016 na vytvořené sestavě pro měření HCDP zvané Condumax II SKID Michell, umožňující měřit v laboratoři či v terénu, v rámci studie FAT (Field Acceptance Test) pro zákazníka RWE Gas Storage, s.r.o., kdy byla zkoušena přesnost, opakovatelnost a spolehlivost vytvořeného zařízení pomocí propanu a zemního plynu. V dalších letech následovala série testů ověřující především spolehlivost sestavy, přesnost a dlouhodobou stabilitu. Např. měření rosného bodu propanu v rozsahu tlaků od 400 kPa do 700 kPa v roce 2018 ukázalo velmi dobrou shodu mezi teoretickými predikcemi z fyzikálně-chemických modelů a experimentem. Vlastní kalibrace zákaznických měřidel rosných bodů uhlovodíků ovšem dosud neproběhla. Hlavním důvodem, proč nebyla tato služba dosud zavedena, je absence systému návaznosti. Problematika zajištění sestav normalizovaných postupů je totiž natolik složitá a náročná na vybavení, že dosud nebyl nikým vytvořen konkrétní a jednoznačný postup návaznosti. Klíčová je především absence referenčních materiálů a neexistuje ani jasný postup vytvoření definované hodnoty HCDP nutné při kalibraci. K dispozici je norma EN ISO 6570:2004(E) a technický report EN ISO/TR 12148:2009(E), které dohromady představují nejlepší pokusy světových institutů a organizací o zajištění systému návaznosti měření HCDP vyšších uhlovodíků. Implementace obou těchto dokumentů úspěšně probíhá od roku 2019. Pro plnění tohoto úkolu rozvoje bylo zásadní provedení MPZ s firmou Innogy, při kterém byly porovnány měřicí schopnosti obou laboratoří. Plnění tohoto úkolu bylo závislé na časových, technických a personálních možnostech zákazníka Innogy.

Bližší podrobnosti o technických aspektech, problematice měření a aktuálním stavu laboratoře pro měření rosného bodu uhlovodíků jsou k dispozici ve zprávě Rozvoje etalonáže teploty, vlhkosti plynů a materiálových vlastností pod číslem úkolu 20101201. Závěrem lze konstatovat, že úspěšným absolvováním MPZ byla prokázána schopnost provádět měření podle výše zmíněných norem.

Úkol splněn.



Obrázek 26 - Sestava pro měření rosného bodu uhlovodíků a vybraná část zařízení pro jeho kalibraci

ii. Vybudování primárního etalonu vlhkosti v pevných látkách na gravimetrickém principu.

Termín: 12/2021

Doposud známou metodou v oblasti analýzy vlhkosti pevných látek je gravimetrie.

Tato metoda poskytuje reprodukovatelné výsledky, nicméně vychází pouze ze změny hmotnosti dané látky a zcela chybí analýza plynů uvolněných během sušení. Proto bylo v polovině roku 2019 vypsáno výběrové řízení na dodání sestavy termogravimetrie ve spojení s plynovou chromatografií s hmotnostní detekcí (TGA-GC/MS), jež umožňuje komplexní analýzu vzorků. To ovšem nebylo úspěšné. Nové výběrové řízení bylo tedy vypsáno začátkem roku 2020, ale bylo v jeho průběhu zrušeno z důvodu nástupu epidemie COVID-19 (nutnost finančních úspor). Až v polovině roku 2020 bylo výběrové řízení obnoveno a úspěšně ukončeno. Sestava byla dodána koncem roku 2020 firmou PerkinElmer. V roce 2021 proběhlo školení, zaučení obsluhy, kalibrace a nastavení zařízení TGA společně s vývojem a testováním vhodných metod. Funkčnost zařízení a vhodnost vyvinutých metod byla ověřena použitím certifikovaných referenčních materiálů. Etalon vlhkosti v pevných látkách na gravimetrickém principu byl na OI Pardubice vybudován. Současně byla připravena metodika 511-MP-C012. V roce 2022 je plánováno jeho vyhlášení.

Úkol splněn.



Obrázek 27 - TGA-GC/MS - termogravimetrie ve spojení s plynovou chromatografií s hmotnostní detekcí

d) V oboru termofyzikálních vlastností materiálů je cílem:

- i. Vybudování primárního zařízení pro měření tepelné vodivosti metodou chráněné topné desky (GHP) v rozsahu teplot (0 - 100) °C.
Termín: 12/2018

V rámci rozvoje měření termofyzikálních veličin na ČMI bylo vybudováno zařízení pro měření tepelných vodivostí metodou chráněné topné desky určené pro nízké teploty (0 – 100 °C). Zařízení bylo zapojeno do projektu 14RPT05 Eura-Thermal, kde proběhlo i mezilaboratorní porovnání při středních teplotách 25 °C a 35 °C na polystyrénovém vzorku dodaného francouzským institutem LNE. Zařízení je funkční a připraveno pro poskytování metrologických služeb.

Úkol splněn.



Obrázek 28 - Malé GHP

- ii. Rozšíření teplotního rozsahu měření tepelné kapacity a měření tepelných efektů pro pevné látky a kapaliny pomocí aplikace diferenční skenovací kalorimetrie.
Termín: 12/2020

Diferenční skenovací kalorimetr DSC 3+ a kombinovaný přístroj termogravimetrické analýzy a diferenční skenovací kalorimetrie TGA-DSC 3+ byly pořízeny od firmy Mettler Toledo. Dodání a instalace přístroje proběhlo na počátku srpna a o dva týdny později proběhlo školení personálu. Byly provedeny testovací měření na několika vzorcích, pro ověření znalostí s obsluhou přístroje a také pro zjištění, zda výsledky se shodují s těmi, které byly naměřené během instalace. Detailní popis výsledků je ve zprávě rozvoje etalonáže teploty, vlhkosti plynů a materiálových vlastností pod číslem úkolu 20101201.

Úkol splněn.



Obrázek 29 - DSC - diferenční skenovací kalorimetr (DSC 3+) a TGA - přístroj pro termogravimetrickou analýzu

- iii. Metrologické zajištění návaznosti měření délkové roztažnosti pevných látek při vysokých teplotách až do 1000 °C.
Termín: 12/2021

Pro tento úkol byla realizována investice v hodnotě cca 2 mil. Kč pro pořízení přístroje Termomechanické analýzy (TMA/SDTA 2+) od firmy Mettler Toledo. Dodání přístroje proběhlo v průběhu listopadu a jeho instalace následně proběhla v prvních prosincových dnech společně se zaškolením personálu. TMA pracuje v teplotním rozsahu od laboratorní teploty do cca 1600 °C. Přístroj měří délkovou roztažnost látek, ale i další vlastnosti jako tříbodový ohyb, kontrakce a prodloužení tenkých fólií nebo vláken a penetraci. Během instalace byla provedena různá testovací měření pro ověření funkčnosti a zároveň byla provedena kalibrace přístroje na referenčních materiálech výrobce. Po instalaci a proškolení personálu bylo uskutečněno vlastní testovací měření, pro ověření, zda se naměřené výsledky shodují s těmi naměřenými během instalace. Zařízení je funkční a bude využíváno jak pro zákaznické aplikace, tak i v rámci výzkumných projektů.

Úkol splněn.



Obrázek 30 - Termomechanický analyzátor (TMA/SDTA 2+)

iv. Vývoj referenčních materiálů pro měření tepelné vodivosti a tepelné kapacity.
Termín: 12/2021

Aktivity směřující k splnění vytyčeného cíle byly zaměřeny na výběr vhodných materiálů a implementaci metod, pomocí kterých je možné stanovit tepelnou vodivost (metoda chráněné topné desky, GHP) a tepelné kapacity (diferenciální skenovací kalorimetr, DSC). Laboratoř je v současné době schopna poskytnout zákazníkům jeden referenční materiál pro měření tepelné vodivosti a čtyři pro stanovení tepelné kapacity. V případě tepelné vodivosti se jedná o materiál polymethylmethakrylát (PMMA) ve formě disků s tloušťkou 30 mm a poloměrem 102 mm. Tepelná vodivost nabízeného materiálu může být stanovena v teplotním rozsahu (-5 až 65) °C. Jako referenční materiály pro stanovení tepelné kapacity jsou nabízeny kovy v čisté formě – cín, měď, hliník, a nikl. Pro stanovení tepelné kapacity jsou využívány metody „safír“ a TOPEM. Pro dosažení co nejlepšího výsledku je ideální vybrané referenční materiály mít k dispozici v práškové formě, s určitými omezeními však lze stanovit i tepelnou kapacitu vybraných kovů např. ve formě granulí. Vyvinuté referenční materiály jsou nabízeny zákazníkům a metody GHP a DSC jsou využívány i při řešení výzkumných projektů.

Úkol splněn.



Obrázek 31 - Diferenciální skenovací kalorimetr (DSC 3+)

VII. Koncepce rozvoje metrologie akustiky a kinematiky

Rozvoj metrologie akustických a kinematických veličin bude zaměřen nejen do standardních oblastí, jako je průmysl, doprava nebo zdravotnictví, ale v případě akustiky i do oblastí umění, multimédií, komunikačních technologií i moderních technologií zábavního průmyslu tak, aby se metrologické možnosti přizpůsobily poptávce po metrologických službách i v těchto oborech. Koncepce rozvoje akustiky a kinematiky je rozdělena na dvě základní části, metrologii akustiky a metrologii kinematiky.

a) V oboru metrologie akustiky je plánováno:

- i. Návrh a konstrukce nového automatizovaného měřicího systému pro kalibrace a ověřování měřicích mikrofónů, zvukoměrů a akustických kalibrátorů, splňujícího parametry, které požaduje aktualizovaná verze normy IEC 61672-rev. 2014. Termín: 12/2017

V roce 2017 byla řešena analýza připravovaného automatizovaného kalibračního systému pro kalibrace a ověřování měřicích zařízení oboru akustika. Následně byla v rámci oddělení 8012 realizována konstrukce automatizovaného měřicího systému, která byla dokončena v 12/2017.

Úkol splněn.

- ii. Zavedení porovnávací měřicí metody dle ČSN 61094-5 pro kalibraci mikrofónů v tlakovém poli mikrokomůrky s piezoelektrickým budičem. Termín: 6/2018

V laboratoři akustiky byla v roce 2018 v rámci úkolu technického rozvoje vyřešena vstupní část nového kalibračního systému pro ověřování zvukoměrů, který umožní měření většího počtu typů zvukoměrů. Dále byl rozšířen kalibrační systém Spektra o modul FFT analýzy pro spektrální analýzu při kalibraci průmyslových měřičů vibrací, působících na lidské tělo v souladu s ČSN 61094-5 a byla provedena řada validačních měření.

Úkol splněn.

- iii. Zavedení měřicích metod pro měření citlivosti pracovních i komerčních mikrofónů ve volném poli s využitím impulsní metody a pro měření jejich směrových charakteristik, případně další akustická nebo elektroakustická měření s přihlédnutím k novým způsobům přenosu akustické informace digitálním formátem.

Termín: 12/2020

V laboratoři akustiky oddělení akustiky a kinematiky ČMI byla zavedena měřicí metoda pro měření pracovních i komerčních mikrofónů ve volném poli. Pro tyto účely byl použit měřicí systém NTI FX100. Pomocí tohoto systému a synchronizovaného otáčení rotační základny pro umístění měřeného mikrofónu a za pomoci impulsní, měřicí metody je možné měřit citlivost mikrofónu v závislosti na úhlu jeho natočení vůči zdroji akustického signálu. Impulsní metoda navíc výrazně eliminuje nepříznivé akustické vlivy prostoru, ve kterém se měření

provádí a tím umožňuje zvýšení přesnosti takových kalibrací. Součástí měřicího systému je také současné měření podmínek prostředí. Uvedenou metodou je možné kalibrovat jak měřicí mikrofony, tak mikrofony komerční, které se liší způsobem připojení a různými způsoby napájení. Výsledky kalibrace mikrofону je možné uvést buď tabulárně, nebo ve formě grafu, který slouží především pro komerční použití a nejpřehledněji vystihuje směrové a kmitočtové vlastnosti měřeného mikrofónu.

Úkol splněn.

c) V oboru metrologie kinematiky je plánováno:

- i. Tvorba metodiky a návrh a konstrukce měřicího systému pro kalibrace vyzařovacích parametrů detektorů optických rychloměrů.

Termín: 12/2018

V laboratoři rychloměrů ČMI byl v rámci úkolu technického rozvoje navržen, postaven, uveden do provozu a validován systém pro kalibrace měřičů dráhy, rychlosti a zrychlení, využívaných při kalibracích a ověřování dráhových, silničních a úsekových rychloměrů. Následně byla vypracována metodika pro jeho využití při kalibraci vyzařovacích parametrů detektorů optických rychloměrů.

Úkol splněn.

- ii. Analýza potřeb a metod a zavedení oboru metrologie satelitní navigace pro oblast kinematických veličin.

Termín: 12/2019

Pro přípravu kalibrací a vytvoření kalibračních metod pomocí systémů, založených na principu satelitní navigace (SN) byla v rámci oddělení metrologie kinematiky realizována řada podpůrných kalibračních zařízení a provedeno několik měření a jejich vyhodnocení na základě závislosti kalibrací pomocí satelitní navigace na parametrech, ovlivňujících přesnost a realizovatelnost této metody pro měření rychlosti a ujeté vzdálenosti. Byly realizované podpůrné měřicí systémy a metody pro zajištění možnosti porovnání metody SN jak pro kalibrace rychlosti, tak i ujeté vzdálenosti. Bylo provedeno vyhodnocení etalonového rychloměru a měřidla vzdálenosti TAG Heuer zajišťujícího možnost porovnání systémů SN, dále byl realizován systém pro kalibrace vysokých rychlostí optickou metodou – optická brána. V závislosti na vývoji technologií přijímačů SN byly postupně pořízeny, resp. z vlastních zdrojů realizovány etalonové rychloměry, pracující na principu SN, systém Pegasem, systém SN ČMI1, aplikace měření ujeté vzdálenosti pro systém Dewetron. Byl pořízen kalibrační systém SBG systém Ellipse 2, pracující na principu kombinované lokace pomocí SN, pozemních stanic a inerciálních snímačů. Přesnost kalibrace se tak zvýšila až o dva řády.

Úkol splněn.

VIII. Metrologie síly a momentu síly

Potřeba metrologických služeb v těchto oborech odpovídá situaci průmyslu v ČR. Nadále ubývá těžkého strojírenství a hutnictví, tudíž také velkých siloměrů a velkých měřidel momentu síly. Naopak další nárůst požadavků na kalibraci je zaznamenán u měřidel nižších jmenovitých rozsahů, používaných pro montážní práce na výrobních linkách apod. Takové snímače síly a momentu síly nacházejí uplatnění hlavně v automobilovém a elektrotechnickém průmyslu, jejichž další rozvoj v příštích letech lze předpokládat. Ve stavebnictví jsou požadavky stále a rozšiřování požadavků na metrologické výkony se nepředpokládá.

Koncepce rozvoje metrologie síly a momentu síly je rozdělena na dvě základní části:

a) Metrologie síly

b) Metrologie momentu síly

a) V oboru metrologie síly je cílem:

- i. Příprava na vyhlášení etalonu síly ESZ 10 N státním etalonem.
Termín: 12/2019

Zajištění etalonáže síly v rozsahu do 10 N vyplývá z potřeby zajištění jednotnosti a správnosti měření jednotky síly v průmyslových podnicích a výzkumných ústavech ČR. Požadavky na takové kalibrace přicházejí stále častěji převážně z automobilového a elektrotechnického průmyslu. Z tohoto důvodu začala v roce 2015 příprava na konstrukci a výrobu etalonového zařízení, jež by umožnilo kalibraci snímačů síly v rozsahu 1 až 10 N s nejistotou W_{fsm} v hodnotách menších než 0,01 % měřené síly. V letech 2015 až 2016 byly provedeny konstrukční práce a vytvořena výkresová dokumentace nového zařízení, jež dostalo název ESZ 10 N. Samotná výroba a sestavení proběhlo v letech 2017 až 2018. V první polovině roku 2019 byly provedeny poslední konstrukční úpravy zařízení a proběhly první testovací měření. V druhé polovině roku bylo provedeno porovnávací měření s maďarským metrologickým institutem BFKH. Na základě tohoto porovnávacího měření, výpočtu a dalších měření byla stanovena nejistota zařízení na hodnotu $W_{fsm} = 0,004$ % měřené síly. Ta dovoluje provádět kalibraci siloměrů všech tříd přesnosti, které jsou pro potřeby ČR důležité (třídy 00; 0,5; 1 a 2, klasifikováno podle ČSN EN ISO 376). Tímto etalonem síly jsou v současné době pokryty potřeby ekonomiky ČR pro jmenovité síly siloměrů do 10 N. Etalonové siloměrné zařízení této konstrukce odpovídá pro tento rozsah realizace jednotky síly požadavkům na státní etalon síly. Vyhlášení státním etalonem bylo provedeno v červnu roku 2021.

Úkol splněn.



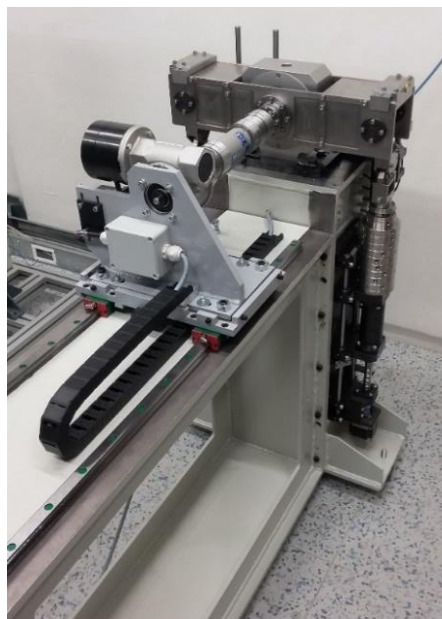
Obrázek 32 - Etalon síly ESZ 10 N s rozsahem 1 až 10 N a CMC=0,004%

b) V oboru metrologie momentu síly je cílem:

- i. Příprava na vyhlášení etalonu momentu síly EZMS 10 N·m státním etalonem.
Termín: 12/2017

Úkol byl zpracován v rámci UTR 17801101. V rámci tohoto úkolu byla mimo jiné provedena kalibrace a porovnávací měření na EZMS 10 N·m. Úkol byl obhájen 20.12.2017 a vyhlášení EZMS 10 N·m proběhlo v roce 2018.

Úkol splněn.



Obrázek 33 - Etalon momentu síly EZMS 10 N·m s rozsahem 0,2 až 10 N·m a CMC=0,009%

- ii. Zpřesnění primárního etalonu momentu síly EZMS 1 kN·m pomocí náhrady valivých ložisek uložení ramena vzduchovým ložiskem s cílem dosáhnout hodnot CMC $1 \cdot 10^{-4}$.

Termín 12/2021

V rámci koncepce rozvoje metrologie síly a momentu síly pro roky 2017-2021 bylo provedeno zpřesnění etalonu momentu síly EZMS 1kN·m. Ke splnění úkolu bylo nutno nahradit střed otáčení ramena z valivých ložisek ložiskem vzduchovým. Ložisko bylo zakoupeno od německé společnosti CEH – Calibration engineering Hohmann. K novému ložisku bylo potřeba navrhnout a nechat vyrobit celé rameno. Konstrukční práce pro nové rameno byly provedeny v oddělení 8011 LPM v rámci úkolů TR v letech 2020 a 2021. Původní ocelový svařenec byl nahrazen ramenem kombinujícím rameno nosné z materiálu AL7075 a rameno určující délku z materiálu INVAR36. Tato kombinace řešení umožnila dosáhnout požadované přesnosti délky ramen, dostatečnou tuhost a zároveň redukovat hmotnost na minimum. Výroba součástí nového ramena byla zajištěna ve společnostech ProfiMultitec a MP Nástrojárna Úpice. Po kompletaci etalonového zařízení EZMS 1kN·m bylo věnováno veškeré úsilí jeho nastavení a seřízení. Po provedení několika kontrolních měření k ověření funkčnosti bylo provedeno rovněž porovnávacím měřením s PTB. Tímto porovnávacím měřením bylo potvrzeno dosažení cílové hodnoty $CMC=1 \cdot 10^{-4}$. Změna státního etalonu byla po úspěšné oponentuře předložena Radě pro metrologii ke schválení v prosinci 2021.

Úkol splněn.



Obrázek 34 - Etalon momentu síly EZMS 1 kN·m a CMC=0,01%

IX. Metrologie ionizujícího záření

Obor metrologie ionizujícího záření se uplatňuje v mnoha oblastech průmyslu, aplikovaného výzkumu a ochrany životního prostředí a je nepostradatelný zejména pro zdravotnictví a jadernou energetiku. Smyslem navržených cílů je zajištění metrologických potřeb, které vyplynou z rozvoje těchto oblastí.

i. Rozšíření měřicích schopností státního etalonu v oblasti záchytových nuklidů s energií záření X (20 - 100) keV.

Termín: 12/2018

Při jedné z primárních měřicích metod pro standardizaci záchytových nuklidů s energií záření X (20 – 100) keV se v ČMI využívá zařízení bezokénkový $4\pi\text{NaI(Tl)}$ detektor uložený ve vysoušeném boxu. Cílem úkolu bylo vybudovat obdobné zařízení se stabilnějšími parametry, které umožní snížit nejistotu měření způsobenou ne zcela známými a stabilními parametry zařízení. Zmíněného cíle bylo dosaženo prostřednictvím vytvoření řízeného prostředí uvnitř měřicího prostoru vysoušeného boxu, zejména pak lepší regulací vlhkosti a teploty omezením výměny vzduchu s okolím. V rámci řešení úkolu byl připraven fyzikální návrh zařízení. Po zvážení nabídky na výrobu takového zařízení, resp. jeho náročnosti výroby a provozu, byl návrh přehodnocen a při výrobě zařízení bylo využito nově dostupného technologického řešení umožňujícího zapouzdření scintilačních krystalů do tenké Be fólie. Toto řešení zajišťuje suché prostředí krystalu bez nutnosti použití vysoušeného boxu. Parametry fólie a celého pouzdra krystalu jsou známy s dostatečnou přesností pro vytvoření výpočetního modelu zařízení a výpočet účinnosti detekce pro záření X v požadovaném rozsahu energií. Po provedení úvodních měření se vzorky ^{241}Am připravenými pro mezinárodní porovnání v rámci systému SIR bude připraven návrh k zařazení nového zařízení do sestavy státního etalonu.

Úkol splněn.



Obrázek 35 - $4\pi\text{NaI(Tl)}$ detektor s velmi tenkým okénkem pro měření záchytových nuklidů s energií záření X (20-100) keV

- ii. Příprava vyhlášení státního etalonu příkonu fluence tepelných neutronů, který je nezbytný pro ověřování a vývoj nových detektorů, resp. dozimetrů neutronů.
Termín: 12/2019

Tento úkol koncepce rozvoje metrologie ionizujícího záření představuje poslední fázi vývoje zařízení pro realizaci etalonu veličin popisujících pole tepelných neutronů, který je nezbytný pro ověřování a vývoj nových detektorů, resp. dozimetrů neutronů. Zařízení pro realizaci referenčního pole tepelných neutronů bylo v ČMI budováno a charakterizováno od roku 2013. Má podobu krychle o délce hrany 2 m složené z grafitových bloků, do které se vkládá šest radionuklidových zdrojů neutronů o celkové emisní četnosti $2,26 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$. Uvnitř grafitové prizmy se nachází experimentální kanál pro realizaci pole tepelných neutronů. Pole tepelných neutronů bylo charakterizováno pomocí měření se zlatými fóliemi (Westcottův formalismus) a byl vytvořen Monte-Carlo model grafitové prizmy, který umožnil komplexní charakterizaci neutronového pole (energetické spektrum, úhlová distribuce apod.). Model byl validován sadou experimentálních dat naměřených různými detektory s různými principy měření (zlaté fólie ^{197}Au , zlaté fólie v kadmiovém pouzdře tloušťky 1 mm, manganové tablety ^{55}Mn a dva typy proporciónálních detektorů s ^3He ve třech polyethylenových moderátorech o různé velikosti). Relativní rozptyl průměru získaného z jednotlivých měření je 1,8 % ($k = 1$). V roce 2019 byla na základě dosažených výsledků vypracována technická dokumentace shrnující princip, popis a metrologické parametry etalonu, která představuje nezbytný předpoklad pro zahájení procesu začlenění grafitové prizmy do systému státních etalonů ČR. Vyhlášení nového státního etalonu příkonu fluence tepelných neutronů proběhlo v r. 2020 pod číslem ECM 440-3/20-064.

Úkol splněn.



Obrázek 36 - Státní etalon příkonu fluence tepelných neutronů

iii. Studie možností zavedení metrologie neutronů v energetické oblasti řádu stovek MeV pro potřeby urychlovačových provozů využívaných ve zdravotnictví a průmyslu.

Termín: 12/2020

S rozšířením částicových urychlovačů z oblasti experimentální fyziky i do dalších oblastí výzkumu a medicíny celosvětově přibývá pracovišť, kde vznikají neutronová pole o vysokých energiích (desítky či stovky MeV). Měření vysokoenergetických neutronů na těchto pracovištích je důležité např. z hlediska radiční bezpečnosti, avšak kalibrace neutronových měřidel v oblasti vyšších energií se standardně neprovádí, neboť v tuto chvíli neexistuje metrologicky zabezpečené pracoviště, kde by byly k dispozici referenční pole neutronů v řádu stovek MeV. Realizace referenčního pole neutronů o vyšších energiích pouze v rámci ČMI není možná z důvodu extrémní finanční a personální náročnosti a takové pole v tuto chvíli není k dispozici v žádné z metrologických institucí sdružených v BIPM. Navíc, pokud takové pracoviště vznikne mimo Evropu, tak bude jeho dostupnost přinejmenším problematická i v budoucnu. ČMI nicméně disponuje rozšířeným Bonnerovým spektrometrem neutronů, který umožňuje měřit i v neutronových polích o vysoké energii. Je tedy možné provádět měření přímo u uživatele a několik takových měření již bylo např. na pracovišti PTC Praha úspěšně realizováno. Analýza výše uvedených měření nicméně ukázala, že modelování a měření protonů a neutronů o vysokých energiích vykazuje relativně velké diskrepance a tato oblast bude proto vyžadovat další systematický výzkum, do kterého se ČMI může aktivně zapojit. Perspektiva navýšení výkonů v oblasti legální metrologie je pro oblast vysokoenergetických nabitých částic i neutronů velmi malá, zejména kvůli omezenému počtu pracovišť, kde je možné se s nimi setkat. Není možné očekávat, že v ČR jich bude někdy více než jednotky. Přestože tato pracoviště stanovená měřidla využívají (položky 8.3 a 8.5 vyhlášky č. 345/2002 Sb.), měření neutronů, jakožto sekundárních částic, zde poskytuje pouze doplňující informaci relativní k intenzitě primárního svazku. Případná provozní neutronová měřidla mimo osobních dozimetrů tak nebudou předmětem pravidelného ověřování.

Úkol splněn.

iv. Vybudování komplexního pracoviště pro měření s kapalnými scintilátory pro účely měření radionuklidů s velmi krátkým poločasem rozpadu pro medicínské účely.

Termín: 6/2021

Cíle úkolu byly splněny v roce 2020. Pro vybudování pracoviště bylo využito zařízení TDCR s kapalnými scintilátory, které poskytuje možnost zkrátit přípravu vzorků. Za účelem zkrácení doby měření bylo v průběhu let 2019 – 2020 doplněno o instrumentaci na bázi FPGA, přizpůsobenou krátkým měřicím časům a záznamu měřených dat s odpovídajícím časovým rozlišením, byly provedeny potřebné úpravy vyhodnocovacího softwaru a byl navržen optimální

měřicí postup včetně organizačního schématu pro zapojená pracoviště. Vybudované pracoviště umožňuje standardizovat aktivitu radionuklidů s krátkým poločasem (řádově v minutách), která byla v ČMI v minulosti prováděna pouze sekundárními metodami buď spektrometricky nebo ionizační komorou. V roce 2020 bylo provedeno pilotní měření ^{11}C , typického představitele PET radionuklidů. V roce 2021 byly provozní metrologické vlastnosti tohoto souboru zařízení dále testovány s využitím další měřicí metody. Po doplnění zařízení TDCR o gama kanál je možno použít ho pro měření stopovací metodou. Stopovací metoda je založena na měření směšného vzorku čistého β nuklidu a stopovače. Stopovačem je nuklid, jehož aktivitu je možno stanovit koincidenční metodou s dostatečnou přesností a má podobné spektrum β jako čistý β nuklid. Tato metoda je vhodná pro nuklidy, pro které měření TDCR metodou (Triple to Double Coincidence Ratio, zařízení s kapalnými scintilátory) představuje problém např. z důvodu nestandardního složení roztoku a tím atypické účinnosti nebo kvůli nedostatečně známým datům pro výpočet – jde hlavně o tvar spektra.

Testovací měření dopadla úspěšně a stopovací metoda v zařízení s kapalnými scintilátory doplnila stávající metody měření.

Úkol splněn.

v. Zpřesňování jaderných dat vybraných radionuklidů a standardizace spekter záření beta.

Termín: 12/2021

Problematice zpřesňování jaderných dat se pracoviště ČMI IZ věnuje dlouhodobě. Vynikající výsledky jsou dosahovány díky vysoké úrovni používaných metod absolutního měření aktivity radionuklidů a metod spektrometrie fotonového záření. Ke spektrometrickým měřením jsou používány velmi dobře kalibrované polovodičové detektory, označované jako GC4018, GCX, BEGe a Si(Li). Detektory jsou kalibrované experimentálně a metodou MCNP. Výsledky metody MCNP jsou validované a prověřené řadou mezinárodních porovnání. V poslední době byly zpřesněny jaderná data radionuklidů Rb-86, Lu-177, U-235, Ac-227, Ho-166, a Y-90. Zpřesňovány byly výtěžky fotonů, poločasy přeměny a energie. Práce byly provedeny buď v rámci dvoustranných porovnání, nebo projektu MRTDosimetry. Výsledky byly publikovány v následujících článcích: Measurement of the Rb-86 decay data, J. Radioanal. Nucl. Chem., (DOI 10.1007/s 10967-015-4674-4), Activity standardisation, photon emission probabilities and half-life measurement of Lu-177 (ARI 109(2016)160-163), Measurement of absolute gamma-ray emission probabilities in the decay of U-235 (ARI 132(2018)72-78), Measurement of absolute gamma-ray emission probabilities in the decay of Ac-227 in equilibrium with its progeny (ARI 144(2019)34-45), Activity measurements of nuclear decay data of Ho-166 in the MRTDosimetry project (ARI 153(2019) 108826), Measurement of the branching ratio related to the internal pair production of Y-90 (ARI 156(2020)108942). Účast ČMI v projektu MetroBeta spočívala v navržení úprav a dobudování spektrometru s detektorem Si (Li). Byly

německým metrologickým institutem PTB (Physikalisch Technische Bundesanstalt) a je založena na využití bezaperturní rastrovací optické mikroskopie v blízkém poli v infračervené oblasti. Jedná se o metodu, která je paralelou infračervené spektroskopie, využívané rutinně pro chemické analýzy, nicméně poskytuje velmi vysoké rozlišení díky lokálnímu zesílení světla v oblasti hrot/povrch. Experimentální zařízení bylo navrženo s ohledem na snadné získání metrologické návaznosti i na možnost provádění porovnávacích měření s dalšími metrologickými instituty. Zařízení je schopno pracovat s různými typy infračervených zdrojů, monochromatických i širokospektrálních. Zároveň byly vyvinuty nástroje pro analýzu dat a pro modelování interakce mezi hrotem a povrchem, které je důležité zejména z pohledu optimalizace signálu laděním vlastností hrotu. Konečně byly také testovány různé typy hrotů a navržena metodika přípravy hrotů s ohledem na jednoduchost jejich použití. V současnosti používaný zdroj infračerveného záření umožňuje mapování infračervených spekter v poměrně úzkém spektrálním rozsahu, nicméně díky modularitě systému je možné v budoucnosti snadno používat další zdroje, dle potřeb a technické dostupnosti.

Úkol splněn.

iv. Vývoj numerických nástrojů pro multisenzorová měření v nanometrologii. Termín: 12/2020

Při měření fyzikálních vlastností vzorků v oboru nanometrologie se často naráží na problém, že požadovaná veličina je korelovaná s dalšími neznámými veličinami. Příkladem může být tloušťka tenké vrstvy a její index lomu v optických měřeních. Řešením, jak separovat jednotlivé veličiny, je využití více senzorů, které jsou citlivé na různé veličiny. Tento přístup se často nazývá hybridní metrologie. Při využití více senzorů je nezbytné disponovat numerickými nástroji pro analýzu dat, které byly v roce 2020 vyvinuty. Přístup je založen na vytvoření strukturního modelu vzorku (tj. rozložení materiálu a jeho vlastností v prostoru) a řady nástrojů, které umožňují vypočítat odezvu různých senzorů při měření takového vzorku. Celý postup je pak využit pro řešení inverzní úlohy, tj. nalezení neznámého, rozložení materiálu ve vzorku na základě měřených dat. Pro tyto účely je využito buď fitování metodou nejmenších čtverců, nebo v případě složitějších vzorků metodu založenou na využití neuronových sítí, která umožňuje snadněji predikovat počáteční parametry fitování i v složitějším prostoru parametrů, kde hrozí nalezení pouze lokálních minim sumy reziduí. Nástroje, které byly vytvořeny pro řešení přímé úlohy, která je klíčovým krokem při fitování, zahrnují výpočty odezvy při měření mechanických, termálních a elektrických veličin pomocí metod rastrovací mikroskopie, měření mechanických vlastností nanoindentací a měření optických vlastností digitální spektroskopickou reflektometrií.

Úkol splněn.

XI. Metrologie tlaku a vakua

Obor je významný pro celou řadu průmyslových aplikací, zdravotnictví, ochranu životního prostředí. Zejména obor vakua je klíčový pro zajištění provozu pokročilých technologií. Projevuje se zde znatelný trend růstu požadavků na metrologické zajištění v čím dál vyšším vakuu. V oblasti metrologie tlaku a vakua je záměrem zlepšovat nejistoty státních etalonů, rozšířit technické parametry primární etalonáže, zvýšit automatizaci měření a výpočtů a reagovat na nové požadavky klíčových oborů, např. plynárenství.

V oboru metrologie tlaku a vakua je cílem:

- i. Zpřesnění státního etalonu přetlaku, podtlaku a absolutního tlaku v plynném médiu pomocí vývoje nové teplotně inaktivní základny etalonu.

Termín: 12/2017

Bylo provedena konstrukční úprava a následně otestováno chování, opakovatelnost a stabilita etalonu po odsunu veškeré elektroniky ze základny státního etalonu PG. Podrobnosti o splnění tohoto úkolu jsou uvedeny v samostatné zprávě „Konstrukční úprava státního etalonu PG 7601 na teplotně inaktivní základnu“.

Úkol splněn.



Obrázek 37 - Teplotně inaktivní základna státního etalonu přetlaku, podtlaku a absolutního tlaku v plynném médiu

- ii. Zpřesnění státního etalonu vakua v podtlaku a přetlaku v plynném médiu do 15 kPa pomocí odrušení atmosférických fluktuací vývojem nového hermetického systému.

Termín: 12/2019.

Původní naplánovaná cesta ke zpřesnění státního etalonu vakua ECM 170-4/06-033 (DHI FPG), jež ale měří i nízké přetlaky a podtlaky, měla být pomocí odrušení atmosférických fluktuací vývojem nového hermetického systému pro tento státní etalon. Tento systém byl vyvinut. Během realizace se objevila možnost využít pro zpřesnění také nového souřadnicového měřicího stroje, Carl

Zeiss Xenos oddělení délky LPM Praha, k přesnější geometrické návaznosti tlakové měřky. Získaná data pak byla předána expertům na modelování proudění z Thessalské univerzity, kteří danou problematiku zvládají. Bylo nám poskytnuty nové, přesnější hodnoty velikosti efektivní plochy tohoto etalonu za referenčních podmínek v přetlaku a v absolutním tlaku, přičemž nejistoty jsou nyní nižší a shoda s experimentálními výsledky je vynikající. Proporcionální složku nejistoty se novým geometrickým vyhodnocením podařilo snížit o 6 ppm (pro $k = 2$), což je významné zlepšení nejistoty státního etalonu vakua o 21 % v celém rozsahu. Konstantní složka nejistoty tohoto přístroje schválená v původní dokumentaci SE je opravdu extrémně nízká. Tato složka nejistoty je ovlivňována též fluktuacemi atmosféry a její dosažení bylo možné jen za naprosto optimální klimatických podmínek, na něž bylo nutno čekat.

Zkonstruování a odladění hermetické komory nás zbavilo závislosti na aktuální stabilitě atmosférického tlaku a umožňuje dosáhnout optimálních (extrémně nízkých) konstantních složek nejistoty v přetlaku a podtlaku za jakýchkoliv povětrnostních podmínek.

Úkol splněn.



Obrázek 38 - Hermetický systém pro státní etalon vakua

iii. Metrologické zajištění primární etalonáže vakua v oboru středního vakua v rozsahu od 0,01 Pa až do minimálně 5 Pa včetně konstrukce a charakterizace etalonu.

Termín: 12/2020

Etalonáž části oboru jemného vakua (od tlaku 1 Pa výše) je realizována státním etalonem vakua na principu digitálního pístového tlakoměru s nerotující měrkou. Oblast vysokého vakua (10^{-1} až 10^{-6} Pa) je pokryta státním etalonem vysokého vakua na principu dynamické expanze. Oblast tlaků 10^{-1} až 1 Pa však nelze zajistit rozšířením rozsahů těchto stávajících primárních etalonů s dostatečně nízkou nejistotou. V oboru tlaků tzv. jemného vakua ($10^2 \div 10^{-1}$ Pa) se totiž nalézají rozhraní fyzikálních principů jak měřících metod, tak i metod získávání nízkých tlaků. Proudění plynu v tomto oboru vakua je obvykle charakterizováno jako tzv. přechodové proudění mezi oblastmi molekulárního a viskózního proudění plynu. Tato oblast tlaků se však ukazuje jako velmi zajímavá, neboť

sem spadá poměrně velký objem kalibrací měrek. Cílem tohoto úkolu bylo vybudování funkčního primárního etalonu středního vakua v oblasti absolutních tlaků 0,01 Pa až 5 Pa včetně jeho metrologické charakterizace. Předchozím výzkumem v ČMI a Společné laboratoři metrologie vakua s MFF UK byla ověřena možnost realizace tzv. mnoho-otvorových clon, které lze v tomto oboru tlaků použít i v systémech na principu dynamické expanze. Tímto se otevřela možnost konstruovat etalon v oboru jemného vakua zcela originálním způsobem, který by oproti etalonu na principu statické expanze představoval technicky jednodušší a finančně výhodnější řešení. Ve ČMI byl tedy vytvořen a předběžně charakterizován primární etalon pro oblast středního vakua na principu dynamické expanze se systémem dvou výměnných clon. Jedna clona tzv. molekulární navazuje svými parametry na druhou tzv. geometrickou, jejíž vakuová vodivost je určena přímo z jejích rozměrů. V roce 2020 byl postupně proveden návrh nového prvku geometrické clony v podobě dvojité sférické clony. Značné úsilí bylo věnováno vylepšení postupů při realizaci clony tak, aby její geometrie byla co nejdokonalejší a tím i dosažená nejistota z geometrických rozměrů co nejmenší. Vodivost nové geometrické clony byla stanovena pro N₂ při 23°C na $(0,14035 \pm 0,00013)$ L/s s relativní nejistotou 0,94 ‰. Byla naměřena efektivní čerpací rychlost v kalibrační komoře na $(0,14029 \pm 0,00014)$ L/s, relativní nejistota je 1,03 ‰. Pomocí měření s měrkou SRG byla stanovena i hodnota efektivní čerpací rychlosti při použití molekulární mnoho-otvorové clony na 0,13866 L/s. Z provedeného rozboru vodivostí clon vyplývá, že nová geometrická clona je použitelná bez korekce do tlaku $6,3 \times 10^{-2}$ Pa (pro N₂) a molekulární mnoho-otvorová clona do tlaku 6,9 Pa (pro N₂). Obě tyto hranice jsou stanoveny pro odchylky efektivní čerpací rychlosti v kalibrační komoře do 1 ‰. Z těchto údajů pak vyplývá základní metrologická charakterizace etalonu středního vakua. Nedílnou součástí příspěvku k celkové nejistotě je i nejistota průtokoměru. Při kalibracích v rozsahu 0,01 až 5 Pa je při čerpací rychlosti cca 0,14 L/s využit proud plynu v rozsahu $1,4 \times 10^{-6}$ až 7×10^{-4} Pa.m³/s. Průtokoměr, který je součástí etalonu vysokého vakua, v této oblasti má nejistotu 0,6 % (k = 1).

Úkol splněn.



Obrázek 39 - Aparatura dynamické expanze v přechodovém režimu

iv. Metrologické zajištění primární etalonáže vakuových He netěsností v rozsahu pod $1 \cdot 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$.
Termín: 12/2021

Kvalita výrobků a technologií úzce souvisí s defektoskopií a těsností různých vakuových či přetlakových prostorů. Technologie měření těsnosti se používají v mnohých odvětvích průmyslu od polovodičového přes automobilový, od nano k jaderným technologiím. Ve všech těchto oborech se široce používají pro detekci těsnosti heliové technologie s velmi malými toky helia tzv. heliové detektory, k jejichž kalibraci se používají speciální tzv. heliové netěsnosti. Kalibraci těchto netěsností dokáže zajistit jen několik špičkových pracovišť na světě s velmi dlouhými čekacími lhůtami. Z toho důvodu bylo rozhodnuto modifikovat vakuové etalony ČMI, aby umožnily tyto požadované kalibrace až do rozsahu pod $1 \cdot 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Mezi metodami měření netěsností zaujímají vakuové metody významné postavení, jelikož jde o metody z principu nedestruktivní, poměrně univerzální, značně flexibilní a velice citlivé. Helium je nejpoužívanější plyn pro měření plynových netěsností. Problematika zajištění návaznosti malých netěsností byla řešena paralelně na dvou pracovištích. Jednak na Státním etalonu vysokého vakua s využitím sektorového hmotnostního spektrometru a zároveň na budovaném etalonu ultra vysokého vakua s využitím kvadrupólového hmotnostního spektrometru. Na obou systémech bylo zároveň nutno navrhnout flexibilní modifikace vakuového zapojení a provést řadu pomocných měření. Vyvinuté systémy s průtokoměry na principu konstantního tlaku s proměnným objemem a děličem průtoku aktuálně umožňují provádět kalibrace standardních heliových netěsností v rozsahu od $5 \cdot 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ do $8 \cdot 10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Rozšířená nejistota stanovení proudu plynu se pohybuje od 1,2 % pro vyšší průtoky (nedělený proud plynu) do 1,8 % při nejnižší hodnotě $5 \cdot 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. S ohledem na uplatněný princip dělení proudu plynu, jež není žádným způsobem vázán na použití helia, je možné systém v budoucnu využít i pro další čisté plyny. To bude v blízké budoucnosti důležité zejména pro kalibrace sekundárních vodíkových netěsností a hledačů netěsností využívajících jako stopový plyn vodík. Správnost měření na obou systémech byla potvrzena jak vzájemným porovnáním obou pracovišť, tak i mezinárodním porovnáním pracoviště na Státním etalonu vysokého vakua se slovinskou národní laboratoří Institutu pro výzkum materiálů a technologií v Ljubljani (s návazností na mezinárodní referenční hodnotu). Obě porovnání byla provedena s permeačním transfer-etalonem He netěsnosti a obě vyšla velmi úspěšně.

Úkol splněn.



Obrázek 40 - Rozšíření státního etalonu vysokého vakua pro velmi nízké proudy He

v. Zpřesnění etalonáže velmi vysokých přetlaků v olejovém médiu v rozsahu (500 – 700) MPa.

Termín: 12/2022

Mnohé pokročilé technologie vyvinuté v poslední době vyžadují užití extrémně vysokých tlaků. Jejich přesné měření je pak potřeba jak z hlediska bezpečnosti, tak i z hlediska technologického v mnoha oborech, počínaje výrobou umělých drahokamů, přes nejrůznější strojírenské technologie jako auto-fretáž, vysokotlaké vstřikování do motorů, tváření kapalinou (hydroforming), izostatické lisování a řezání vodním paprskem, až po farmaceutický a potravinářský průmysl. ČMI měla v rozsahu 500 MPa až 1 GPa nejistotu v BIPM KCDB 0,2 % z měřené hodnoty, která se stala nevyhovující a založená na 60 let starém nevyhovujícím pístovém tlakoměru. Je nutno ale zdůraznit, že jen 10 zemí světa má CMC v KCDB nad 500 MPa. V roce 2021 byl pořízen, navázán a vyhodnocen pístový tlakoměr Aréméca BH5-10000B. Navázání na státní etalon přetlaku v olejovém médiu (do 500 MPa) a analýza nejistot vedly k nově dosažené nejistotě měření tlaku 0,025 % v rozsahu od 20 MPa až 700 MPa (pro $k = 2$). Toto znamená, že nejistota generování tlaku byla v tomto rozsahu 10x zlepšena a cíl koncepce rozvoje NMS byl splněn.

Úkol splněn.



Obrázek 41 - Etalon vysokého přetlaku v olejovém médiu do 1 GPa
Arémeca BH5-1000B

XII. Metrologie tvrdosti

Tvrdot jako jedna ze základních mechanických vlastností materiálů. V mnoha případech její přesné měření je klíčovým faktorem pro konstrukci či zajištění kvality a dlouhodobé životnosti výrobků v technické praxi. V současné době je stále častěji v řadě průmyslových oborů používána metoda měření mikrotvrdoti. V návaznosti na tento trend bude v oboru tvrdosti cílem:

- i. Rozšíření státního etalonu tvrdosti Vickers v oblasti mikrotvrdoti.
Termín 12/2019

V roce 2019 byly ukončeny práce na rozšíření státního etalonu stupnic tvrdosti Vickers č. ECM 153-3/01-14 o stupnice od HV0,001 až do HV menší než 1. V rámci oponentního řízení státního etalonu bylo rozhodnuto, že bude rozšířen rozsah existujícího státního etalonu.

Úkol splněn.

XIII. Metrologie délky a rovinného úhlu

Jednotka délky jeden metr je odvozena z rychlosti šíření světla. Proto zdroje záření lasery a přístroje pracující s lasery (lasertracker, lasertracer, laserscanner, laserový interferometr a další) mají vysokou prioritu v oblasti výzkumu. Na tyto přístroje navazují optické přístroje a dále mechanické dotykové přístroje. Stále více se využívají a rozvíjejí metody kvantové fyziky, optiky, důležitou roli hraje rozvoj elektroniky a řízení. Rozsah měření délek je velký od měření atomových mřížek, přes nano a mikro metrologii, přes strojírenská měření a dále přes geodetické měření až k měření kosmických rozměrů. V poslední době nabývá na významu měření ne jenom v jedné ose, ale ve dvou a třech osách - 3D-třidimensionální (souřadnicová)

metrologie. Ta je zabezpečována 3D měřicími stroji, lasertrackery, optickými skenery a mnoha dalšími přístroji.

K těmto třem měřeným osám dále přistupuje měření času. Mnoho přístrojů měří dobu návratu odraženého laserového paprsku a z této doby se určuje vzdálenost na základě znalosti rychlosti šíření světla. Potřeba současného měření délky a času vede i k měření rychlosti a zrychlení, což je využíváno např. u laserových interferometrů, u měřicích přístrojů rychlosti (optické brány) nebo např. při měření velkých až meziplanetárních vzdáleností.

Pod obor měření délek patří i měření rozměrů, tvarů, odchylek tvarů, drsnosti a vlnitosti, měření obecných ploch a v neposlední řadě úhlu. Úhel se měří a vyhodnocuje na základě buď rovinné a prostorové trigonometrie, nebo pomocí speciálních přístrojů.

Metrologie délky úzce zasahuje do měření dalších veličin a jednotek jako je tlak (měření plochy pístu), rychlost, zrychlení, moment síly a další. Je důležitá v nových technologiích (výroba nano vláken, 3D tisk atd.).

Koncepce rozvoje metrologie délky a rovinného úhlu je rozdělena na části:

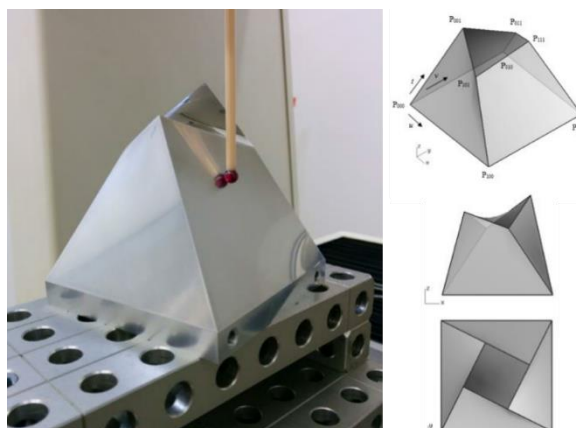
- a) Metrologie délky (metrologie 1D, 2D, 3D vzdáleností, rozměrů, tvarů, odchylek tvarů a polohy)
- b) Metrologie velké délky (velkých vzdáleností)
- c) Metrologie rovinného úhlu

a) V oboru metrologie délky je cílem:

- i. Návrh artefaktů pro zajištění metrologické návaznosti pro přístroje pracující s rentgenovým zářením - computed tomografy (CT).
Termín: 12/ 2017

Byla provedena analýza metrologických vlastností XCT zařízení a zajištěna jeho metrologická návaznost prostřednictvím nově vyvinutých artefaktů (kalibrační tyč jako součástí držáku vzorku, free-form artefakt). Výsledky měření byly porovnány s různými 3D souřadnicovými stroji a byl navržen postup stanovení nejistot při měření obecných tvarů. Jedno zařízení na základě těchto výsledků prošlo akreditací.

Úkol splněn.



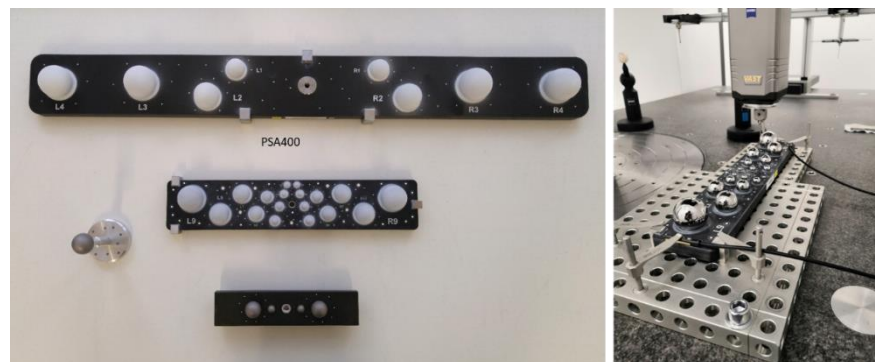
Obrázek 42 - Freeform artefakt pro CT

- ii. Zajištění metrologické návaznosti na státní etalon délky, doporučení postupů měření k zvýšení přesnosti u přístrojů optických skenerů samostatných i jako součástí souřadnicových strojů.

Termín: 12/ 2017

V posledních letech zaujímají všechny druhy skenerů velký význam při měření rozměrů, tvarů, i obecných tvarů. Hlavní výhodou je rychlost měření. V několika sekundách načtou optické skenery „mraky“ bodů. Zvyšování přesnosti se dosahuje hlavně kalibrací kalibračních těles. Ke kalibracím skenerů se používají tělesa s koulemi. Pro kalibrace skenerů byla zavedena v Laboratořích primární metrologie (LPM) ČMI nová služba. Pro tuto kalibrační službu byly zakoupeny 4 etalony, čtyři kalibrační tělesa, která obsahují několik párů koulí. K nim dále přibyla matná koule. Přímá návaznost těchto artefaktů na státní etalon délky je zajištěna v LPM ČMI následujícím řetězcem: Státní etalon délky He Ne2 laser, laserový interferometr Renishaw, souřadnicový měřicí stroj SIP a WERTH, kalibrační tělesa. Zvýšení přesnosti skenerů se dosahuje jednak velice přesnou kalibrací kalibračních těles s koulemi, tak dotykovou metodou na stroji SIP a dále opticky na multi-senzorovém stroji Werth. Na zmíněném stroji WERTH byla odzkoušena zcela nová metoda kalibrace artefaktů, na kterých jsou koule nastříkány jemným práškem, který tvoří měkký matný povrch. Takový povrch lze měřit jen laserovou sondou, která je součástí vybavení stroje WERTH. Další výrazné snížení nejistoty kalibrací artefaktů začíná být prováděno na zcela novém unikátním měřicím stroji Zeiss-Xenos, kde konstantní část nejistoty je 0,3 mikrometru. Zvýšení přesnosti měření skenerů v technické praxi je dále podmíněno důsledným dodržením kalibrace podle doporučení VDI/VDE 2634.

Úkol splněn.



Obrázek 43 - Etalony výrobce GOM: typ PSA400 a PSA900, Etalony vlastní výroby: ČMI matná koule a ČMI ball bar matný, Kalibrace pomocí SIP CMM5. Zeiss XENOS od roku 2018

- iii. Zvýšení přesnosti měření pro průmyslové aplikace pomocí vysoce přesného souřadnicového měřicího stroje (konstantní část nejistoty 0,3 μm), zajištění návaznosti pro 1D, 2D a 3D měření.

Termín: 12/2018

Oddělením technické délky ČMI LPM Praha byl uveden do provozu nový etalonový měřicí stroj ZEISS XENOS s integrovaným otočným stolem

umístěným v laboratoři č. 650 v ČMI OI Praha Radiová. Maximální chyba při měření délek dle ISO 10360-2:2009 je $E_0 = (0,3 + L/1000) \mu\text{m}$, pro L v mm. Bylo provedeno dvoustranné mezilaboratorní porovnání. Dále v období od července do srpna roku 2018 proběhlo mezinárodní porovnání mezi ČMI a PTB. Tato porovnání byla vyhodnocena jako velmi úspěšná. Všechny výsledky jsou několikrát lepší, než je deklarovaná nejistota. Na tomto stroji byly provedeny kalibrace 1D, 2D i 3D objektů, artefaktů pro průmysl (stupňových měrek, desek s koulemi i prostorových (3D) objektů. Např u 1D objektů výsledná nejistota měření s použitím substituční metody byla vyhodnocena následovně: $U = (0,1 + 0,4L) \mu\text{m}$; (L v m). Výrobce deklarovaná specifikace stroje je přitom mnohem vyšší $MPEE_0 = (0,3 + 1L) \mu\text{m}$. Na základě vynikajících výsledků byl tento stroj vyhlášen jako Státní etalon geometrických rozměrů 3D objektů. Vyhlášením Státního etalonu jako nejpřesnějšího měřicího stroje se splnila podmínka návaznosti na všechna méně přesná (průmyslová) měřidla.

Úkol splněn.



Obrázek 44 - Souřadnicový měřicí stroj Zeiss XENOS

iv. Vývoj optického etalonu kmitočtu pro primární etalonáž délky a času.
Termín: 12/2019

Český metrologický institut provádí vývoj optického etalonu frekvence - laseru stabilizovaného podle kvadrupólového přechodu iontu ytterbia (v rámci víceletého úkolu 13801403) a související výzkum v řadě interních i mezinárodních projektů (EMRP a EMPIR). Jedná se o velmi náročný projekt jak z hlediska odborného, technického, tak i finančního. Byla vybudována laboratoř se zdvojenou podlahou, klimatizací a vybavena optickými stoly. Byly vybrány, pořízeny a instalovány pomocné jedno-frekvenční lasery 369 nm (pro laserové chlazení iontu), 399 nm (pro izotopicky selektivní ionizaci ytterbia 171), 760 nm a 935 nm (pro přípravu stavu iontu) a vyzkoušena stabilizace jejich frekvence pomocí vlnoměru. Byla navržena, vyrobena a sestavena iontová past ČMI, vakuová komora a helikální rezonátor. Byly vybrány, pořízeny, nastaveny a charakterizovány optické a mechanické prvky, závěrky, optická vlákna, elektrooptické a akusto-optické modulátory pro manipulaci s laserovými paprsky a jejich dopravu na optický stůl s iontovými pastmi. Byly navrženy a vyrobeny asférické čočky pro zobrazení chladicího záření rozptýleného iontem,

zachyceným iontem a vybrány, pořízeny a vyzkoušeny fotonásobiče a EM CCD kamera pro detekci tohoto záření. Byl vybrán, na zakázku vyroben, dodán, instalován a charakterizován ultrastabilní „hodinový“ laser pro kvadrupólový přechod 171Yb^+ . Byla detekována a charakterizována luminiscence neutrálních atomů ytterbia a identifikován přechod pro selektivní ionizaci 171Yb .

Úkol splněn.



Obrázek 45 - Ultrastabilní hodinový laser

- v. Zpřesnění výsledků a jednoznačné vyjádření odchylek tvaru na optických, dotykových měřicích strojích i na skenerech

Termín: 12/ 2019

Výsledkem měření na souřadnicových měřicích a optických strojích a na skenerech je soubor naměřených dat, někdy i soubor velkého množství dat tzv. mraků bodů. Z těchto dat se potom určovaly vzdálenosti, rozměry, tvary, odchylky tvaru i polohy. Bylo zapotřebí vycházet z norem ISO GPS, aby matematicky vypočtené hodnoty (rozměru, vzdálenosti, tvaru, polohy) byly přesné a jednoznačné. Soubor ISO GPS Norem (Geometrical Product Specifications) v sobě zahrnuje detaily návrhu (strojírenského výkresu). Jde o Základní normy, které stanovují základní pravidla a postupy tolerování a kótování výrobků např. ČSN ISO 8015:1994(014204) technické výkresy. Dále popisuje souřadnicový systém (kartézský, sférický), pracuje s tzv. geometrickými primitivami (přímka, rovina, kružnice, válec, koule, kužel), využívá matematického vyhodnocení (přesné matematické vyjádření, každý bod je součástí primitiva, CAD model je přesný). Z konstruktérské praxe lze zmínit, že každý výkres výrobku obsahuje tolerance, odchylky tvaru, orientace a polohy např. ČSN ISO 1101 (014120), Geometrické specifikace výrobků (GPS)- Geometrické tolerování-tolerance tvaru, orientace, umístění a házení. V okamžiku existence reálného výrobku pak následuje proces měření s matematickým aparátem vyhodnocení dat (metoda nejmenších čtverců, obálka, filtrování, vážení). Po všech těchto krocích došlo k zhodnocení. Celý upřesňující proces od návrhu až k měření je popisován modifikátory: např. modifikátor kritéria pro přiřazení nejmenších čtverců (Gauss) apod. V poslední době nabývá významu při zpracování mraků a ke zpřesnění výsledků měření snížením vlivu falešných odrazů filtrování: nejpoužívanějšími filtry jsou Gaussův, dále morfologický filtr a Spline. Výše uvedeným postupem bylo dosaženo přesných, a hlavně jednoznačných výsledků.

Úkol splněn.

- vi. Tvorba metodiky, návrh a konstrukce etalonážního systému pro kalibrace vyzařovacích parametrů detektorů optických rychloměrů – optických bran (ve spolupráci s oddělením kinematiky a v návaznosti na jejich úkol)
Termín: 12/ 2019

Jedněmi z měřidel, kalibrovaných v laboratořích ČMI, jsou i měřiče pracující na principu dvojité optické brány. Rychlost pohybu je zaznamenána dvojicí optických detektorů a rychlost pohybu je počítána ze zpoždění obou pulzů jednotlivých detektorů, jejichž vzdálenost od sebe je přesně určena. Vzhledem k tomu, že se jedná o dva oddělené optické elementy, může nastat případ, kdy přijímací charakteristiky obou detektorů nejsou rovnoběžné. V takovém případě může dojít v určité vzdálenosti od ústí detektorů k nezanedbatelné chybě. Pro kontrolu a kalibraci tvarů a rovnoběžnosti obou přijímacích laloků byl navržen a zkonstruován měřicí systém, jehož pomocí je vymezena plocha, ve které reaguje detektor na odraz od pohybujícího se objektu. K detekci byl použit etalonový rychloměr pomalých, lineárních rychlostí, jehož pohyb vozíku s upevněným odrazným terčem je ovládán krokovým motorem se šroubovicí a jehož pozice byly ve spolupráci s oddělením technické délky zkalibrovány interferometrem. Pohybem vozíku je simulováno vystavení odrazného terče do zvolené polohy a vhodným algoritmem je tak zjištěna dvojice krajních bodů plochy, ve které detektor odraz detekuje. Tím je stanoveno, jak se tvar a poloha této aktivní plochy shoduje u obou detektorů. Pro kalibraci byla vytvořena metoda kalibrace a byly zohledněny různé měřicí režimy jednotlivých druhů měřidel rychlosti.

Úkol splněn.

- vii. Zpřesnění metrologické návaznosti pro oblast strojírenství - 1D měření průměrů a délek na délkoměrech s optickým odečítáním.
Termín: 12/2020

Měření pomocí laserových interferometrů (LI) je v oboru délka dosud nejpreciznějším druhem měření. V ČMI byl navržen způsob měření s využitím LI na dvou pracovištích. V laboratoři 6014 v oddělení primární nanometrologie v OI Brně je zabezpečeno měření válců, a hlavně kalibrace etalonů průměru a délky na délkoměru SIP 1002 M s automatickou teplotní korekcí. Při měření s LI byla vyhodnocena nejistota měření 0,14 μm . Další snížení nejistoty si žádá nákup nového délkoměru. Druhým pracovištěm je LPM ČMI Praha. Zde je prováděno měření pomocí laserového interferometru na délkoměru Zeiss. Jsou prováděny kalibrace etalonů pro tloušťkoměry, ale i kalibrace délkových (indukčních, kapacitních,...) snímačů. Dosahovaná nejistota je nižší než 0,20 μm . Délková kalibrace, zvláště optických kalibrů (čárkových měřitek i optických skleněných kalibrů) se provádí na optickém souřadnicovém stroji Werth v laboratoři LPM ČMI. Dosahovaná nejistota je $(0,5 + 1)L \mu\text{m}$, kde L je v m.

Úkol splněn.

viii. Rozšíření měření a kalibrace měření drsnosti povrchu na tvarových plochách (koule, válce apod.).

Termín plnění 2020, oddělní 8013.

Úkol byl proveden experimentální prací, kdy byly měřeny válcové plochy a koule. Výsledkem bylo to, že na novém přístroji na měření drsnosti povrchu lze měřit drsnost povrchu na kulových a válcových plochách jak vydutých, tak vypuklých. Mohou se měřit povrchy periodické i neperiodické. Zdvih měřicího ramínka je 24 mm, což umožňuje měřit drsnost povrchu v podstatě na všech válcových a kulových plochách od průměru 5 mm. Omezujícím parametrem je měřená délka.

Po vyhodnocení experimentálních prací byly stanoveny CMC pro měření drsnosti povrchu na válcových a kulových plochách. CMC pro charakteristiky R_a , R_q , R_{pm} , R_k , R_{sk} , R_c pro periodické povrchy Q[15, 30R]; pro neperiodické povrchy Q[20, 40R]. CMC pro charakteristiky R_p , R_v , R_z , R_t , R_{max} , R_{zISO} pro periodické povrchy Q[25, 40R]; pro neperiodické povrchy Q[30, 50R].

Úkol splněn.

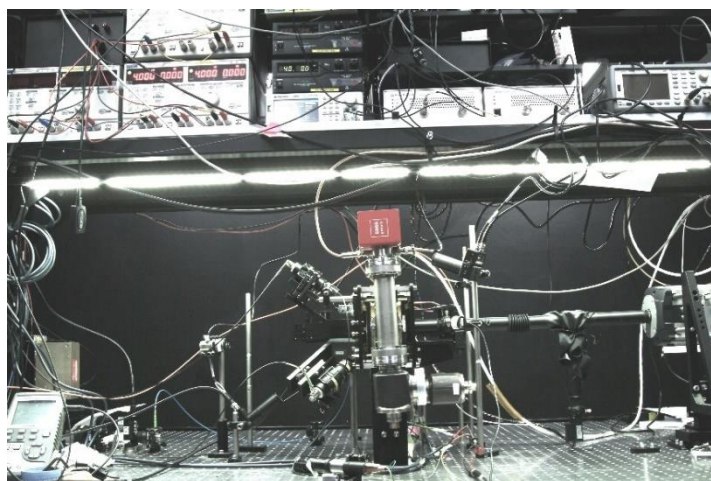
ix. Vyhodnocení metrologických charakteristik a příprava primárního etalonu na principu optických hodin založených na iontu $^{171}\text{Yb}^+$ a příprava na vyhlášení státním etalonem.

Termín: 12/2021

Byl zahájen vývoj optického etalonu frekvence - laseru stabilizovaného podle kvadrupólového přechodu iontu ytterbia (od roku 2013 v rámci víceletého úkolu 13801403/UTR21E801406 a související výzkum v řadě interních i mezinárodních projektů EMRP a EMPIR). Jednalo se o velmi náročný projekt, jak z hlediska odborného, technického, tak i finančního. Byla vybudována laboratoř se zdvojenou podlahou, klimatizací a vybavena optickými stoly. Byly vybrány, pořízeny a instalovány pomocné jedno-frekvenční lasery 369 nm (pro laserové chlazení iontu), 399 nm (pro izotopicky selektivní ionizaci ytterbia 171), 760 nm a 935 nm (pro přípravu stavu iontu) a vyzkoušena a optimalizována stabilizace jejich frekvence pomocí přesného vlnoměru. Byla navržena, vyrobena a sestavena iontová past ČMI, titanová vakuová komora a helikální rezonátor. Byly vybrány, pořízeny, nastaveny a charakterizovány optické a mechanické prvky, závěrky, optická vlákna, elektrooptické a akusto-optické modulátory pro manipulaci s laserovými paprsky a jejich dopravu na optický stůl s iontovými pastmi. Byly navrženy a vyrobeny asférické čočky pro zobrazení chladicího záření rozptýleného zachyceným iontem a vybrány, pořízeny a vyzkoušeny fotonásobiče a EM CCD kamera pro detekci tohoto záření. Byl vybrán, na zakázku vyroben, dodán, instalován a charakterizován ultrastabilní „hodinový“ laser pro kvadrupólový přechod $^{171}\text{Yb}^+$. Byla detekována a charakterizována luminiscence neutrálních atomů ytterbia a identifikován přechod pro selektivní ionizaci ^{171}Yb . U funkčního prototypu se podařilo dosáhnout ultra-vysokého vakua (2×10^{-7} Pa v roce 2020, 1×10^{-8} Pa v roce 2021) a v pasti zachytit a detekovat ionty $^{174}\text{Yb}^+$ a $^{171}\text{Yb}^+$. Ke konci roku 2020 bylo

zjištěno a ověřeno zachycení a laserové zchlazení právě jednoho iontu požadovaného izotopu s cílem zvýšit citlivost detekce (snížit vliv pozadí rozptýleného světla), takže poměr detekovaného rozptýleného chladicího záření jednoho iontu k pozadí je lepší než 10:1 pro oba izotopy. Byly připraveny a ověřeny metody měření a software pro automatickou kompenzaci elektrostatických polí pro minimalizaci zbytkového pohybu iontu vyvolaného RF polem pasti (micromotion). Byly detekovány srážky zachyceného zchlazeného iontu s částicemi zbytkového plynu – jsou v řádu jednotek srážek za minutu až jedna srážka za několik minut. Na dalším snížení tlaku hlouběji do UHV se pracuje. V roce 2021 byl detekován hodinový (kvadrupólový, E2) přechod iontu $^{171}\text{Yb}^+$ a připraven hardware a softwarová sekvence pro jeho interogaci. Dále byla zahájena příprava realizace druhého systému stejných optických hodin pro budoucí interní porovnání a výzkum metrologických vlastností etalonu. Výsledky výzkumu prováděného v mezinárodních projektech s účastí ČMI byly publikovány v recenzovaných časopisech (*Metrologia*, *Applied Physics B*, *Review of Scientific Instruments*). V Metrické konvenci zatím stále platí definice sekundy založená cesiových hodinách pracujících v radiofrekvenčním pásmu. Přijetí nové definice sekundy bylo již po několikáté odloženo. Předpokládá se, že v roce 2026 CIPM vybere preferovaný typ definice (z tří možností: a) jeden referenční optický přechod b) skupina referenčních optických přechodů c) zafixování hodnoty další základní konstanty) a CIPM 2030 a CGPM 2030 schválí novou definici. Vyhlášení státního etalonu času a frekvence na principu optických hodin je plánováno v koncepci rozvoje NMS na období 2022-2026 jako bod XVI. iii. Podklady pro vyhlášení však připraveny byly.

Úkol splněn.



Obrázek 46 - Sestava UHV aparatury s iontovou pastí, vláknovými kolimátory, EM CCD kamerou a fotonásobičem



Obrázek 47 - Sestava čtyř pomocných stabilizovaných laserů a vlnoměru, v pozadí hodinový laser 435nm v akusticky a vibračně izolačním boxu

b) V oboru metrologie velké délky je cílem:

- i. Zvýšení přesnosti a především operativnosti na státním etalonu velkých délek pomocí totální stanice Leica MS 50 na geodetické základně.
Termín: 12/2017

V rámci řešení a splnění tohoto úkolu byly do složení státního etalonu navrženy další přístroje a byla stanovena nová nejistota parametrů etalonu. Pro nové složení státního etalonu byly experimentálně stanoveny jeho metrologické charakteristiky.

Úkol splněn.

c) V oboru metrologie rovinného úhlu je cílem:

- i. Rozšíření státního etalonu o generátor malých úhlů pro kalibraci přesných autokolimátorů.
Termín: 12/2018

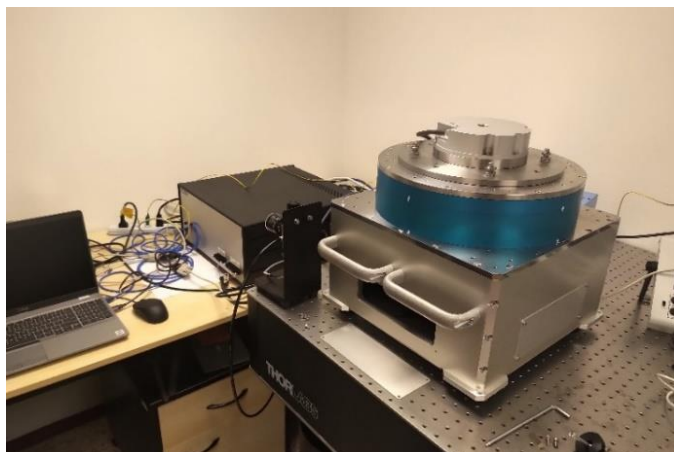
Dne 3.12 2018 byla úspěšně obhájena při oponentním řízení změna parametrů státního etalonu rovinného úhlu – ECM 114-1/06-030. Etalon byl rozšířen o přesný interferometrický generátor malých úhlů (IGMU) a došlo ke změně návaznosti autokolimátorů státního etalonu, která bude nově realizována pomocí IGMU. Dne 21.12 2018 byl vydán Dodatek č. 3 ke Schvalovacímu protokolu státního etalonu, kterým došlo ke schválení uvedených změn.

Úkol splněn.

ii. Rozšíření státního etalonu o přesný rotační stůl.
Termín: 12/2021

Státní etalon rovinného úhlu byl rozšířen o přesný rotační stůl SCMS-127. Jednalo se o nezbytné rozšíření státního etalonu tak, aby byla dostatečným způsobem pokryta etalonáž rovinného úhlu v ČR a byla zajištěna metrologická návaznost pro přesné rotační etalony (zejména úhломěrné převodníky), které doposud nebylo možné kalibrovat s dostatečně nízkou nejistotou nebo v požadovaném rozsahu. Přesný rotační stůl SCMS-127 SelfA slouží ke kalibraci přesných měřidel rovinného úhlu. Tento etalon je vybaven vzduchovým ložiskem a konstruován tak, že disponuje samokalibrační funkcí. Etalon nevyžaduje další návaznost, po ustavení kalibrovaného přístroje je provedena samokalibrace přístroje a vytvořena vnitřní korekční křivka. Tento etalon je nezbytný pro kalibrace rotačních a jiných úhlových měřidel s velkým rozsahem. Zejména v současné době stále více dominujících úhломěrných převodníků (ang. angle encoders). Tyto přístroje v současné době vyžadují měření s mnohem nižší nejistotou, než bylo pomocí stávajícího vybavení možné dosáhnout. S původním vybavením bylo možné měřit tyto etalony pouze manuálně. Stůl SCMS-127 umožňuje plně automatické měření v celém rozsahu. Vzhledem k tomu, že jedním z nejpřesnějších etalonových úhломěrných převodníků je Heidenhain RON 905, který vyžaduje měření v 36 tis. hodnotách v rozsahu jedné otáčky, je v tomto případě automatické měření zcela nezbytné. Podobným typem rotačního stolu disponuje mnoho NMI a podobně řešeným kalibračním stolem je tvořena návaznost rovinného úhlu např. v německém PTB. Stůl umožňuje automatické měření dalších přesných etalonů úhlu, např. optických polygonů, autokolimátorů, úhlových měrek, pentagonálních hranolů apod. Nové složení státního etalonu rovinného úhlu se zařazením nového přesného stolu SCMS 127 bylo obhájeno dne 30. 11. 2021 a upravená závěrečná zpráva byla odevzdána dne 15. 12. 2021.

Úkol splněn.



Obrázek 48 - Rotační stůl SCMS-127 SelfA

d) V oboru metrologie určení polohy je cílem:

i. Vývoj etalonu polohy pro určení polohy ze systémů GNSS pohybujících se objekty.

Termín: 6/2021

Oba úkoly v této oblasti úzce souvisí. Pro vývoj etalonu byl zakoupen velmi přesný GNSS přijímač firmy SBG Systems - SBG Ellipse2-D, inerciální navigační systém, integrující dvou anténní, vícepásmový GNSS přijímač, schopný poskytovat přesné zaměření a přesnost polohy na centimetrech v podmínkách GNSS. Přijímač nabízí výstupy pro polohu, rychlost, zrychlení, nadmořskou výšku a navigaci. Přijímač je velmi odolný vůči rušení a akceptuje veškeré informace o korekčních parametrech, které družice poskytují. Ellipse2-D používá vylepšený rozšířený Kalmanův filtr (EKF) a obsahuje inerciální měřicí jednotku (IMU) založenou na MEMS, umožňující jednotce kombinovat GNSS a inerciální data ke zpřesnění určení polohy až na hodnotu jednotek cm. Pomocí duálního anténního systému přijímač eliminuje problémy s magnetickou kalibrací a zvyšuje tak přesnost nejen polohy, ale především směru.

Přijímač SBG Ellipse2-D byl v laboratoři vibrací ČMI kalibrován na rychlost a zrychlení pomocí etalonového generátoru vibrací nízkých kmitočtů. Iniciační měření a zprovoznění přijímače bylo řešeno v rámci ÚTR pro rok 2018.

Úkol splněn.



Obrázek 49 - Satelitní GNSS přijímač, Kalibrace satelitního přijímače

ii. Tvorba metodiky, návrh a konstrukce etalonážního systému pro kalibrace vozidlových jednotek využívajících GNSS.

Termín: 12/2020

Řešením úkolu koncepce NMS 2017-2021 bylo zabudování GNSS přijímače SBG Ellipse2-D včetně jeho dalších komponentů do kalibračního systému etalonového měřicího vozu ČMI pro kalibrace a ověřování silničních rychloměrů. Pro zahrnutí do měřicího systému byl naprogramován doplněk stávající kalibrační aplikace pro kalibrace a ověřování silničních rychloměrů. Dále byla provedena kalibrace pomocí etalonového kalibračního systému TAG Heuer porovnávacím měřením průjezdem měřicího, 25 m dlouhého úseku etalonovým měřicím vozem.

Úkol splněn.



Obrázek 50 - Etalonový měřicí vůz ČMI

- iii. Tvorba metodiky, návrh a konstrukce etalonážního systému pro kalibrace jednotek využívajících GNSS pro určení polohy UAV / RPAS.
Termín: 12/2021

VÚGTK řešil v minulých letech úkol zpracování Metodiky určení prostorových objektů s využitím systémů bezpilotních prostředků (UAS). Pro vlastní řešení a metrologickou návaznost realizoval etalon (sít' bodů s využitím stabilizovaných bodů geodetické základny Košnice, na které je realizován státní etalon délek 24 m až 1450 m). S využitím tohoto etalonu bylo uskutečněno ověření výše uvedené metodiky a byly prokázány její charakteristiky přesnosti (standardní nejistota určení polohy) v hodnotách do 3 cm. Tato přesnost plně vyhovuje pro účely katastru nemovitostí a Státní pozemkový úřad tuto metodiku certifikoval v souladu s Usnesením vlády č. 107/2017. Předpokládá se, že metodika bude využita i pro zpracování státních informačních systémů.

Úkol splněn.

XIV. Metrologie optických veličin

Radiometrická a fotometrická měření jsou důležitá pro širokou škálu průmyslových odvětví a aplikací, včetně osvětlení, polovodičové techniky, fotovoltaiky, optické komunikace, automobilového průmyslu, sledování změn klimatu ad. Spektrální rozsah měřených veličin je (200 nm - 50 000) nm. Toto vymezení respektuje členění oboru postupně ustálené v rámci CCPR BIPM a následně v databázi KCDB CIPM.

Koncepce rozvoje metrologie optických veličin zahrnuje následující oblasti:

- a) Optická radiometrie detektorů optického záření
- b) Optická radiometrie zdrojů optického záření (spektrální emise zdrojů optického záření)
- c) Fotometrie
- d) Měření spektrálních parametrů optických materiálů
- e) Měření barev a ostatních spektrálně-integrálních parametrů optických materiálů
- f) Vláknová optika

a) V oboru optické radiometrie detektorů optického záření je cílem:

- i. Vývoj absolutních primárních detektorů pro vláknovou telekomunikační spektrální oblast založenou na aplikaci nanovláknových kryogenních litografických bolometrů s nejistotou na úrovni 0,1 % relativně.

Termín: 12/2019

V ČMI byl v letech 2014-2018 úspěšně vyvinut nový primární etalon pro měření výkonu záření v optickém vlákne založený na planárním čip kryogenního bolometru (planar cryogenic bolometer chip - PCBC). Vývoj byl úspěšně dokončen v roce 2019 a experimentální měření potvrzující jeho plánované parametry proběhly v roce 2019. Mezinárodní validace tohoto globálně unikátního etalonového vláknového radiometru proběhne v následujících letech formou mezinárodního pilotního porovnání s partnerskými NMI NIST Boulder a METAS Švýcarsko nového etalonového detekčního systému proběhl v rámci projektu PhotInd, 14IND13 evropského programu EMPIR.

Úkol splněn.



Obrázek 51 - Heliový kryostat ČMI s uzavřeným chladícím okruhem

- ii. Zajištění metrologické návaznosti detektorů nízkých fotonových toků a fotonových čítačů pro kvantovou optiku kvantové, zajištění mezinárodní ekvivalence měření na úrovni BIPM CCPR (nejistota měření na úrovni 0,5 % relativně).

Termín: 12/2020

V letech 2017 až 2019 probíhal na oddělení Optiky 8018 vývoj optických aparatur, referenčních detekčních systémů a měřicích metodik pro zajištění metrologické návaznosti detektorů nízkých fotonových toků a fotonových čítačů pro kvantovou fotoniku. Paralelně proběhl vývoj dvou nezávislých měřicích aparatur. Systém pro kalibraci čítačů pracujících v režimu volného svazku byl řešen v úzké kooperaci s pracovištěm Kvantového centra NPL Teddington, UK. Jeho validace proběhla formou účasti na pilotní studii CCPR v rámci WG SP TG11.

(https://www.bipm.org/wg/CCPR/CCPR-WG-SP/Restricted/2020/CCPR-WG-SP20-05Progress_Report_TG_11_Few_Photon_Radiometry_2020.pdf). Ve stejném období proběhl úspěšný vývoj kalibrační aparatury pro kalibraci čítačů s technologií vláknové optiky pracujících v telekomunikačních spektrálních pásmech. Validace proběhla formou studie porovnávající první kalibrační aparatury v rámci EU za účasti INRIM, PTB, NPL, a ČMI. Výsledky prokázaly plně konzistentní parametry vyvinuté aparatury a byly přijaty k publikaci v odborném recenzovaném časopise v OSA Optics Express.

Úkol splněn.

iii. Realizace prvních experimentů v oblasti absolutní primární kryogenní radiometrie pro infračervené spektrum (5 – 50) μm .

Termín: 12/2021

V návaznosti na úspěšný vývoj absolutního primárního kryogenního detektoru pro vláknovou telekomunikační spektrální oblast založenou na aplikaci nanovláknových litografických bolometrů (probíhal v úzké spolupráci pracovišť ČMI a NIST, Boulder v letech 2016 až 2019) proběhly v letech 2018 až 2021 současně výzkumné práce a první experimenty s aplikací technologie nanovláknových litografických bolometrických čipů na kryogenní teplotě pro absolutní radiometrii v infračervené oblasti spektra v geometrii volného laserového svazku. Pro geometrii volného svazku byl litografický čip NIST umístěn kryostatu ČMI s uzavřeným heliovým cyklem provozovaným a stabilizován na teplotě 4 K. Kryostat byl vybaven optickým portem s okénkem s definovanou propustností v infračerveném pásmu spektra. Byl vyvinut software pro realizaci metody statické substituce pro měření absolutní hodnoty absorbovaného výkonu a realizována návaznost prostřednictvím přenosového etalonu na primární absolutní kryogenní radiometr ČMI. Charakterizace NIST prokázala spektrálně neutrální totální odrazivost nanovláknového senzoru nepřevyšující 0,01 % v celé spektrální oblasti 0,5 μm až 50 μm . Provedené první experimenty s volným laserovým svazkem byla na vlnových délkách 633 nm, charakterizující pasivní optické ztráty systému, a následně na vlnové délce 2,4 μm prokázaly dostatečnou citlivost měřicího systému pro infračervené laserové záření v dynamickém rozsahu 10 μW až 1,5 mW.

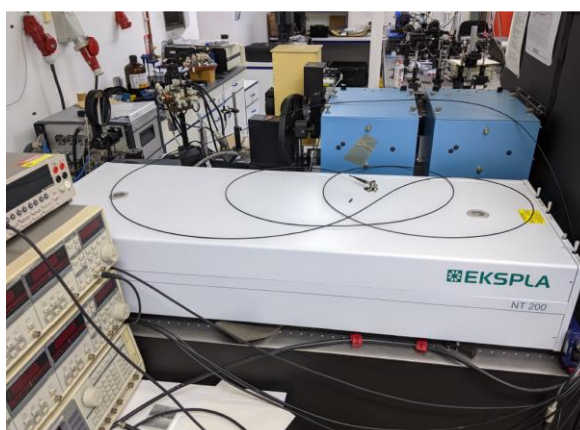
Úkol splněn.

b) V oboru optické radiometrie zdrojů optického záření (spektrální emise zdrojů optického záření je cílem:

- i. Vybudování aparatury pro charakterizaci CCD a diodových spektrometrů v pásmu 200 nm hlediska jejich linearity, interního a externího rozptýleného světla, relativní a absolutní kalibrace odezvy založené na kombinaci OPO laditelných kvazikontinuálních laserů a nových typů kontinuálních přenosových etalonových zdrojů optického záření.
Termín: 12/2018

V oddělení Optiky ČMI byla vybudována aparatura pro metrologickou charakterizaci nové generace optických ne-skanujících spektrometrů založených na aplikaci detektorů na bázi CCD a diodových polí. Systém je založen na využití optických parametrických oscilátorů, generujících kvazikontinuální laserové záření laditelné ve spektrálním rozsahu 250 nm až 2500 nm, jehož výstupní vlnová délka, měřena interferenčním vlnoměrem navázaným v MSN ČMI, umožňuje charakterizaci spektrální stupnice s nejistotou menší než 0,05 nm v celém spektrálním rozsahu a charakterizaci interního a externího rozptýleného světla v dynamickém rozsahu do $1E-5$. Linearita radiometrické stupnice spektrometrů je kalibrována v dynamickém rozsahu do $1E4$. Pro účely in-situ kalibrací spektrometrických systémů (tj. stacionárních spektrometrů, které nelze jednoduše přemístit do kalibrační laboratoře) byl vyvinut unikátní systém kontinuálních přenosových etalonových zdrojů optického záření TuPS, který byl poprvé s úspěchem aplikován v letech 2017 - 2018 v organizaci WMO pro kalibraci globální sítě Dobsonových spektrometrů pro měření tloušťky ozonové vrstvy.

Úkol splněn.



Obrázek 52 - Laditelný laser na bázi Optického Parametrického Oscilátoru ČMI

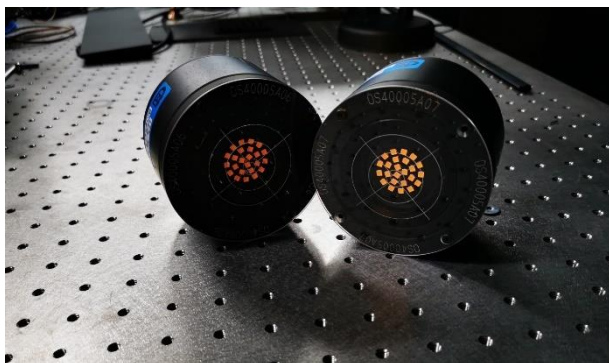
b) V oboru fotometrie je cílem:

- i. Zavedení nových typů přenosových etalonů svítivosti a celkového světelného toku založené na LED zdrojích do metrologického schématu návaznosti veličin ČMI

Termín: 12/2020

Úkol byl úspěšně řešen v letech 2017-2019. Byla provedena adaptace primární fotometrické aparatury ČMI pro aplikaci nové typu etalonových LED zdrojů. Pro LED zdroje emitující pouze ve viditelné oblasti spektra byly vyvinuty vlastní primární bez-filtrové radiometry založené na struktuře past'ových křemíkových detektorů a byl adaptován jeden z etalonových PQED detektorů pro aplikaci primárního fotometru. Ve spolupráci s laboratorii PTB Braunschweig byla provedena základní charakterizace dvou prototypů LED etalonových zdrojů ve smyslu jejich spektrálního a prostorového rozložení emitovaného záření. Byly vyvinuty metody kalibrace LED zdrojů prostřednictvím primárních bez-filtrových radiometrů založených na struktuře past'ových křemíkových detektorů a prostřednictvím adaptovaného PQED a zpracovány podrobné analýzy šíření nejistot. Dosažené výsledky byly publikovány na konferenci CIE ve Washingtonu v roce 2019 (DOI 10.25039/x46.2019.OP13).

Úkol splněn.



Obrázek 53 - LED etalonové zdroje představující nový přenosový etalon svítivosti ČMI

- ii. Zavedení měření a kalibrací v oblasti zobrazovací fotometrie.

Termín: 12/2022

Zobrazovací fotometry a zobrazovací jasoměry jsou nové měřicí systémy umožňující formou analýzy snímaného obrazu provést rychlé a efektivní kvantitativní měření jasových poměrů celé měřicí scény. V návaznosti na rostoucí požadavky po metrologickém zajištění měření těchto zobrazujících fotometrů bylo zahájeno v roce 2020 vlastní vývoj vedoucí k zavedení kalibrací těchto měřidel. Vyvíjené kalibrační metody zahrnují charakterizaci stupnic jasu zobrazovacích fotometrů (linearitu odezvy systému a jejich absolutní kalibraci) a charakterizaci plošné homogenity citlivosti těchto parametrů. V letech 2020 a 2021 byla vyvinuta přímá metoda navázání stupnice jasu na primární realizaci jednotky svítivosti cd, která umožnila snížit nejistotu měření jasu na úroveň 1,1

% relativně. Také byly charakterizovány kalibrační artefakty – difuzní světelné zdroje na bázi integrační sféry – z hlediska jejich plošné homogenity. V roce 2022 bude vývoj pokračovat dokončením metody charakterizace plošné homogenity citlivosti zobrazovacích snímačů fotometrů. Vývoj bude dokončen zavedením kalibrací zobrazovacích fotometrů koncem roku 2022.

Úkol bude v termínu splněn.

c) V oblasti měření spektrálních parametrů optických materiálů je cílem:

- i. Vybudování automatizované kalibrační aparatury pro měření retro-reflexních materiálů pro vodorovná a vertikální dopravní značení
Termín: 12/2020

V letech 2019 a 2020 byla vyvinuta a realizována nová kalibrační aparatura pro měření retro-reflexních materiálů pro vodorovná a vertikální dopravní značení. Konstrukce aparatury byla zvolena tak, aby zajišťovala snadnou adaptaci na všechny v současnosti požadované měřicí geometrie jak pro vertikální značení (EN12899-1, EN DIN 471, E/ECE/Reg 104, ASTM E 1709), tak na horizontální dopravní značení (EN 1436, ASTM E 2302).

Úkol splněn.



Obrázek 54 - Automatizovaná kalibrační aparatura pro měření retro-reflexních materiálů pro vodorovná a vertikální dopravní značení

d) V oblasti měření barev a ostatních spektrálně-integrálních parametrů optických materiálů je cílem:

- i. Vybudování vlastní primární aparatury ČMI pro měření zrcadlového lesku optických materiálů na úrovni nejistoty 1,GU.
Termín: 12/2021

V letech 2020 a 2021 byla vyvinuta a realizována nová primární kalibrační aparatura pro měření zrcadlového lesku CMI-Gloss-01. Konstrukce gonio-reflektometrické aparatury je flexibilně řešen tak, aby splňoval požadavky všech v současnosti existujících mezinárodních norem specifikujících měření zrcadlového lesku jak v Evropě, tak i mimo ní (ISO 2813, ASTM D523 a DIN 67530). Klíčové prvky systému – přesnost úhlového nastavení na úrovni lepší

než 0,02°, stabilita zdroje optického záření lepší než 0,05%, kolimace optického svazku přesahující hodnotu $f/15$, fotonická korekce detektoru dosahující hodnotu $f\lambda'$ menší než 1,2, dynamický rozsah měření detektoru přesahující 4 řády s linearitou měření lepší než $3,5E-4$, umožnily dosáhnout nejistoty měření zrcadlového lesku na úrovni 0,8 GU v rozsahu 10 GU do 100 GU.

Úkol splněn.

XV. Metrologie softwaru

Validace metrologického softwaru patří mezi základní procesy při schvalování typu měřicích přístrojů dle směrnice MID. Software se dostává do stále většího množství měřicích přístrojů napříč jednotlivými obory a nabývá na stále větší důležitosti. Je proto nezbytné vytvořit pevnou základnu pro realizaci funkčního testování a podmínky k dalšímu vývoji nových testovacích metodik vzhledem k nově nastupujícím technologiím, které začínají být implementovány v praxi. V rámci validace metrologického softwaru probíhají zkoušky dle příručky WELMEC Software Guide 7.2 2015 ověřující, že měřidlo splňuje základní požadavky podle míry souvisejícího rizika tak, aby byla zajištěna požadovaná úroveň ochrany.

V oblasti metrologického softwaru jsou hlavní cíle zaměřeny na:

- i. Rozvoj technické laboratoře pro pokročilé metody ověření funkčnosti metrologického softwaru v měřicích přístrojů typu P.
Termín: 12/2017

První fáze byla zaměřena na realizaci simulačního prostředí pro elektroměry, průtokoměry, měřidla tepla a taxametry. Pro zajištění testování softwaru elektroměrů byla laboratoř vybavena příslušnými zařízeními (např. oddělovací autotransformátor, regulovatelný jednofázový atd.). Byla zřízena průtoková dráha, která umožňuje testovat průtokoměry a měřiče tepla dimenze DN20 a DN25 obsahující i referenční průtokoměr. Dále byla laboratoř vybavena generátorem funkcí Rigol DG1022, který slouží k simulaci impulzů a používá se k testování taxametrů. Všechny přístroje byly navrženy tak, aby je bylo možno v co největší míře ovládat pomocí PC. Byly vytvořeny pracovní postupy pro ovládání jednotlivých zařízení. Dále se laboratoř zaměřila na kontrolu zabezpečení softwaru vůči náhodným/neúmyslným i záměrným změnám - k detekci změn softwaru je požadováno použití kontrolního součtu/podpisu. Při validaci softwaru v procesu schvalování typu se začalo s ověřováním realizovaného výpočtu kontrolního součtu/podpisu a ověřováním reakce měřidla v případě změny softwaru.

Úkol splněn.

- ii. Rozvoj technické laboratoře na funkční ověřování metrologického softwaru měřicích přístrojů typu U.
Termín: 12/2018

Rozvoj technické laboratoře pro ověřování metrologického softwaru při měřicích zařízeních typu U pro funkční testy byl zaměřen na komunikaci mezi

měřicím zařízením a vyhodnocovacím zařízením v případě, kdy je komunikace řešena externím způsobem. Zde je důležité, aby byla zajištěna možnost kontroly způsobu zabezpečení komunikace, a to nejen na základě dokumentace. Byly zkoumány možnosti využití aplikací zaměřených na analýzu komunikačních sítí. Vybrané aplikace umožňují otestovat, jestli je možné číst přenášená data, která mají být bezpečnostně zašifovaná. Mimo jiné je možné zjistit množství přenášených paketů, jejich velikost a intenzita přenášení, dále pak jde-li o čtení nebo zápis a také obsah paketů. Při zadání konkrétního příkazu nebo skupiny příkazů je možné sledovat všechny operace, které jsou vykonány, a lze posoudit, jde-li o operace povolené či nepovolené.

Úkol splněn.

- iii. Zavedení dalších metodik posuzování metrologického softwaru a implementace doplňkových požadavků na konkrétní měřicí přístroje dle příslušných norem.
Termín: 12/2019

V roce 2019 se začalo pracovat na metodickém postupu pro „Validace softwaru v jednoúčelových zařízeních typu B a C“ s pracovním označením 611-MP-C400. Metodický postup vychází z norem IEC 62138 (Edition 2.0, 2018-07): Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Software aspects for computer-base systems performing category B or C functions a ČSN IEC 61226 (únor 2011): Jaderné elektrárny – Systémy kontroly a řízení důležité pro bezpečnost – Klasifikace kontrolních a řídicích funkcí. Postup se zabývá splněním požadavků pro kapitoly 6.4 (Specifikace požadavků na software (Software requirements specification) a 6.8 Softwarové aspekty validace systémů (Software aspects of system validation) s využitím koncepce dokumentu WELMEC Guide 7.2., který se zabývá validací SW především pro měřicí zařízení uvedené ve směrnici MID/2014/32/EU. Dokument WELMEC Guide 7.2 se neustále vyvíjí od roku 2005 a prochází pravidelnými revizemi, a je proto vhodným nástrojem pro využití v navrhovaném metodickém postupu. Vzhledem k náročnosti problematiky v oblasti pro jaderné elektrárny byl metodický postup dokončen v roce 2020.

Úkol splněn.

XVI. Metrologie času a frekvence

V oboru metrologie času a kmitočtu je cílem:

- i. Zajištění velmi přesného navazování frekvence s využitím signálů geostacionárních systémů SBAS.
Termín: 12/2018

V roce 2018 byl v rámci úkolu č. III/13/18 Programu rozvoje metrologie řešen časový transfers využitím signálů navigačního systému BeiDou. Byla vypracována teoretická analýza časového transferu, provedeno experimentální ověření a validace a byl vytvořen metodický postup časového transferu z a do LSEČF.

Úkol splněn.

- ii. Zavedení časového transferu s využitím signálů družicových systémů BEIDOU a IRNSS a další rozvoj využití systémů GALILEO a EGNOS.
Termín: 12/2019

V rámci úkolu PRM č. III/13/19 byla provedena teoretická analýza využití signálů indického satelitního navigačního systému IRNSS pro časový transfer, kdy časové přijímače GNSS byly doplněny o příjem a zpracování signálu IRNSS L5 a bylo rovněž provedeno experimentální ověření vlastností časového transferu s využitím tohoto signálu.

Úkol splněn.

- iii. Zavedení kompozitní časové stupnice na základě kvantových zdrojů času a frekvence dostupných v ČR.
Termín: 12/2021

V rámci úkolu Programu rozvoje metrologie č. III/13/21 Rozvoj etalonáže času a frekvence byla s ohledem na změny přístrojového vybavení v Laboratoři Státního etalonu času a frekvence a partnerských laboratořích (CETIN, CESNET, ČVUT FEL, ÚPT AV ČR a VÚGTK) provedena analýza stávajícího stavu kvantových etalonů navazovaných na LSEČF a způsobů jejich navazování na národní časovou stupnici UTC(TP). Důraz byl kladen na využití optických vláken, plně optických sítí a technologie využívané pro optický časový transfer a dále časový transfer prostřednictvím GNSS. Na základě výsledků analýzy byl inovován algoritmus pro výpočet tzv. kompozitní časové stupnice ze všech navazovaných kvantových zdrojů s využitím výsledků všech dostupných transferů času a frekvence do LSEČF. Inovovaný algoritmus byl experimentálně ověřen a následně implementován do hlavního měřicího systému Laboratoře.

Úkol splněn.