



Česká metrologická společnost, z. s.

Novotného lávka 200/5, 110 00 Praha 1

tel: 221 082 254

e-mail: cms-zk@csvts.cz

www.spolky-csvts.cz/cms

Sborník přednášek
přednesených na konferenci Ko 635-25

KONFERENCE ČMS

Novinky v oblasti legální, vědecké a
průmyslové metrologie

26. května 2025

Novotného lávka 205/1, Praha 1

Obsah

Aktuality z oblasti legální metrologie	1
Ing. Zbyněk Veselák, ÚNMZ, odbor metrologie, ředitel	
Digitální kalibrační certifikát	14
Ing. David Mahovský, ČMI OI Praha	
150. výročí vzniku metrické konvence a její dopady na metrologii v ČR	17
Ing. Lenka Kňazovická, Ph.D., ČMI OI Praha, vedoucí referátu národních projektů	
Stanovování a potvrzování nejistot laboratoře	27
Dr. Ing. Radek Strnad, PhD, ČMI OI Praha, ředitel	
Funkční zkoušky vozů	48
Ing. Vojtěch Čech, ŠKODA AUTO a.s., Centrum analýz-funkční zkoušky vozu, legislativa	
Praktická aplikace chemometrických technik	52
Ing. Eliška Vedralová, ÚCHOP, VŠCHT Praha	

26. 5. 2025

KONFERENCE ČMS
Novinky v oblasti legální, vědecké a průmyslové metrologie



Aktuality z oblasti legální metrologie

Ing. Zbyněk Veselák, ÚNMZ, odbor metrologie

Novela vyhlášky č. 345/2002 Sb.

Dne 23. května 2024 bylo ve sbírce zákonů a mezinárodních smluv zpřístupněno znění vyhlášky č. 127/2024 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č. 345/2002 Sb., kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu, ve znění pozdějších předpisů. Dnem 1. července 2024 vyhláška č. 127/2024 Sb. nabyla účinnosti.

Změny vyhlášky č. 345/2002 Sb. prezentuje zejména její nová příloha, která obsahuje 9 skupin položek druhového seznamu měřidel. K dosavadním 8 skupinám přibyla samostatná skupina měřidel průtoku a proteklého množství tekutin, čímž došlo k posunu v číslování skupin, a tím i podskupin a položek druhového seznamu. Co novela přináší lze shrnout v přehledu změn podle jejich charakteru:

- nové položky druhového seznamu stanovených měřidel;
- položky, u kterých dochází ke změně doby platnosti ověření nebo ke změně specifikace;
- položky, u kterých dochází ke změně povinnosti schválení typu;
- položky, které jsou ze stávajícího druhového seznamu stanovených měřidel vypouštěny a
- položky, u kterých dochází ke změně názvu, rozdělení nebo obsahu.

Nové položky druhového seznamu

Položka	Název položky	Doba platnosti ověření
1.2.2	Vícerozměrová měřidla	2 roky
1.3.3	Odměrné válce třídy přesnosti A používané ke kontrole objemu	bez omezení
1.3.5	Přepravní tanky (cisterny) na kapaliny	
	b) přepravní tanky s automatickými hladinoměry	2 roky
2.1.1	Měřidla proteklého množství vody	
	c) měřidla proteklého množství vody – vodoměry s výjimkou měřidel uvedených v bodech a) a b)	5 roků
2.2.1	Měřidla a měřicí systémy průtoku a proteklého množství plynu a jejich členy	
	f) termální hmotnostní plynoměry	2 roky
4.1.5	Měřidla teploty používaná na stacionárních nádržích pro přepočet na referenční podmínky	
	a) snímače teploty	4 roky
	b) snímače teploty s převodníkem	2 roky

5.1.4	Měřidla a měřicí systémy dobíjecích stanic	4 roky
8.1.6	Laboratorní hustoměry oscilační s možností teploty měření vzorku nebo s automatickou teplotní korekcí	1 rok
8.3.2	Měřicí systémy pro stanovení energetické hodnoty energetických plynů a jejich směsí	5 let
8.3.3	Analyzátory chemického složení energetických plynů a jejich směsí	1 rok

K výše uvedeným novým položkám druhového seznamu dále trochu podrobněji.

Položka 1.2.2 Vícerozměrová měřidla – jedná se o druh měřidel, která jsou dodávána na trh (harmonizovanými) postupy posuzování shody (podle zákona č. 90/2016 Sb.) a na něž jsou uplatňovány technické požadavky uvedené v NV č. 120/2016 Sb. (příloha č. 11 k NV č. 120/2016 Sb. – Měřidla pro měření rozměrů). Jde o požadavky směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/32/EU o dodávání měřidel na trh (MID). Jedná se tedy o stanovené výrobky uváděné na jednotný trh (EU) pro měření s významem veřejného zájmu. Ze skupiny měřidel pro měření rozměrů byla v dosavadní regulaci měřidla pro měření délky a měřidla pro měření plochy. Měřidla pro vícerozměrová měření (slouží k určení obvodového rozměru /délky, výšky, šířky/ nejmenšího pravouhlého rovnoběžnostěnu obsahujícího měřený objekt) jsou v posledních letech rovněž využívána pro měření v závazkových vztazích, tzn. s významem vymezeným v § 3 odst. 3 zákona o metrologii, který je analogický s významem uvedeným v MID. Regulace se bude týkat měřidel používaných zejména v logistických službách.

Položka 1.3.3 Odměrné válce třídy přesnosti A používané ke kontrole objemu – jedná se o položku, která umožní použití odměrných válců třídy přesnosti „A“ pro státem vymezené účely (kontrola závazkových vztahů, ochrana spotřebitele) dle zákona o metrologii a jiných právních předpisů. Důvodem pro zařazení těchto měřidel pod metrologickou regulaci je právní požadavek daný zákonem č. 634/1992 Sb., o ochraně spotřebitele – konkrétně § 3 odst. 1 písm. a) a d) a § 15 odst. 1, z nichž vyplývá, že prodávající je povinen prodávat výrobky ve správné hmotnosti a míře, ... a musí umožnit spotřebiteli kontrolu těchto údajů. Zároveň měřidla použitá pro kontrolu prodávajících kontrolními orgány musí splňovat požadavky stanovené jiným právním předpisem, a to předpisem upravujícím oblast metrologie (zákon o metrologii). Uživatelé těchto měřidel jsou tedy jak například provozovatelé restauračních zařízení prodávající rozlévané nápoje, tak kontrolní orgány (například Česká obchodní inspekce, Státní zemědělská a potravinářská inspekce), které tyto provozovatele kontrolují v rámci své působnosti.

Položka 1.3.5 b) Převážní tanky (cisterny) na kapaliny – přepravní tanky s automatickými hladinoměry – jde o mobilní nádrže na kapaliny jako jsou ropné produkty, některé potraviny (pivo, případně mléko), umístěné na silničních či železničních vozidlech, které jsou konstrukčně

realizovány též jako měřidla objemu přepravované kapaliny (teoreticky se může jednat i o měřidla na lodích). Jedná se o nádrž, která je vybavena hladinoměrem (v provedení elektronické měrné tyče či ultrazvukového snímače úrovně hladiny), přičemž automatickým hladinoměrem se míní typ hladinoměru s provozním režimem, který na základě vložených parametrů nádrže a hladinoměru vypočítává objem kapaliny v cisterně včetně vlivu náklonu vůči podélné i příčné ose. V praxi se v současnosti tato měřidla používají s významem podle § 3 odst. 3 zákona o metrologii, tedy jako stanovená měřidla, zejména při měření objemu pro účely závazkových vztahů v rámci distribuce výše zmíněného kapalného zboží. Ve většině případů se jedná o měření objemu pohonných hmot při zavážení čerpacích stanic pohonných hmot z rafinerií a o měření při distribuci piva z pivovarů větším odběratelům. Tento druh měřidel je již v současnosti zařazen do metrologické regulace (přepravní tanky na kapaliny), doplnění však zohledňuje užívání a praktické zkušenosti se stabilitou automatických hladinoměrů vystavených mobilnímu provozu (ve srovnání s automatickými hladinoměry na stacionárních nádržích). Důvodem doplnění položky druhového seznamu měřidel je umožnit odlišení moderních, leč provozně choulostivějších, měřidel s automatickými hladinoměry.

Položka 2.1.1 c) Měřidla proteklého množství vody – měřidla proteklého množství vody – vodoměry s výjimkou měřidel uvedených v bodech a) a b) – řeší požadavek měření proteklého množství vod, které nespádají pod specifikaci dle NV č. 120/2016 Sb. ani pod specifikaci normy k vodoměrům (ČSN EN ISO 4064) na studenou pitnou vodu a teplou vodu, tzn. vodu, která je dodávána běžným odběratelům ve vodovodních sítích. Měření takových (nečistých) vod je stanoveno v právní úpravě (např. zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích nebo vyhláška č. 328/2018 Sb., o postupu pro určování znečištění odpadních vod, provádění odečtů množství znečištění a měření objemu vypouštěných odpadních vod do povrchových vod), a to včetně požadavků na měřidlo, je-li objem proteklé vody měřen ve zcela zaplněném potrubí. Jedná se tedy o regulaci v oblasti měření nečisté vody, která není v rámci EU harmonizována.

Položka 2.2.1 f) Měřidla a měřicí systémy průtoku a proteklého množství plynu a jejich členy

- termální hmotnostní plynoměry – jedná se o nově zaváděnou položku druhového seznamu stanovených měřidel, která mohou být používána v závazkových vztazích obdobně jako jiná měřidla a měřicí systémy průtoku a proteklého množství plynu uvedené v položce 2.2.1. Důvodem je umožnit použití plynoměrů nových konstrukčních řešení.

Položka 4.1.5 Měřidla teploty používaná na stacionárních nádržích pro přepočet na referenční podmínky: a) snímače teploty, b) snímače teploty s převodníkem zahrnuje měřidla teploty používaná na stacionárních nádržích pro přepočet na referenční podmínky. Důsledkem této změny dojde k plnému pokrytí měřených fyzikálních veličin u měřicích systémů na (v) nádržích a k plnému zohlednění metod používaných při měření objemu na stacionárních nádržích.

Položka 5.1.4 Měřidla a měřicí systémy dobíjecích stanic – představuje novou položku druhového seznamu stanovených měřidel zahrnující měřidla a měřicí systémy používané k měření elektrické energie odebrané ze sítě a dodané do vozidel (elektromobilů) v rámci veřejně přístupných sítí elektrické energie – veřejných dobíjecích stanic. Přestože režimy účtování ceny za odběr elektrické energie mohou být rozdílné nebo dokonce kombinované (s paušálním poplatkem za obsazení dobíjecího místa, s účtováním za časovou jednotku), účtování za odebranou elektrickou energii je považováno za základní složku a z pohledu závazkového vztahu se jedná o vztah veřejného zájmu (obdobně jako dodávání pohonných hmot na čerpacích stanicích) - přímý prodej elektrické energie spotřebiteli (viz také zákon č. 311/2006 Sb., o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot a zákon č. 458/2000 Sb., energetický zákon). Dobíjecí (a především rychlodobíjecí) stanice, jejichž součástí jsou měřidla a/nebo měřicí systémy, jsou klíčovou součástí dobíjecí infrastruktury (viz Nařízení o infrastruktuře pro alternativní paliva /AFIR/, které je součástí balíčku „Fit for 55“ Evropské unie). Technické a metrologické požadavky na dobíjecí stanice a rozsah zkoušek dosud nejsou zakotveny v žádném použitelném technickém či normativním dokumentu, prozatím jen v návodovém dokumentu OIML G 22:2022, který je v současnosti převáděn do formátu dokumentu OIML R (který je uznávaný jako normativní dokument EK). Paralelně s aktivitami OIML probíhají aktivity v rámci EU, které mají za cíl vytvořit pro legální metrologii praktický (harmonizovaný) rámec pro dobíjecí stanice (včetně návrhu systémů pro laboratorní i on-site ověřování).

Položka 8.1.6 Laboratorní hustoměry oscilační s možností teploty měřeného vzorku nebo s automatickou teplotní korekcí – zahrnuje měřidla, která představují modernější alternativu skleněných hustoměrů. Oscilační hustoměry poskytují rychlé a snadné měření hustoty v celém jeho deklarovaném teplotním rozsahu. Přesnější oscilační hustoměry navíc umožňují teplotu na požadovanou teplotu s vysokou přesností. Většina měření se pak provádí při teplotě 20 °C, v případě ropných látek při teplotě 15 °C. Odpadá tak problém s vlastní teplotou vyměřovacích roztoků před i během měření v případě, že jsou používány skleněné hustoměry. Oscilační hustoměry rovněž umožňují rychlý způsob měření hustoty s použitím minimálního množství vzorku. Kromě zjednodušení a zrychlení měření hustoty dojde i ke zpřesnění měření hustoty kapalin.

Položka 8.3.2 Měřicí systémy pro stanovení energetické hodnoty energetických plynů a jejich směsí – zahrnuje systémy, které jsou určeny ke zjišťování energetické hodnoty (spalného tepla) energetických plynů a jejich směsí při jejich distribuci v plynárenských sítích. Zatímco množství plynu (standardní objem) se měří individuálně pro každého zákazníka, spalné teplo se měří na několika místech ve větších oblastech plynárenské sítě. Pokud jsou do plynárenské sítě přiváděny plyny, jejichž hodnota spalného tepla se liší jen nepatrně, lze použít obecné postupy

pro stanovení hodnoty spalného tepla v plynárenské síti, jako je například přiřazení objemově vážené průměrné hodnoty spalného tepla měřené na vstupu do sítě za dané zúčtovací období. Pokud nelze z technických nebo ekonomických důvodů použít opatření jako například rozdělení sítě na samostatné dílčí sítě s pouze jedním vstupem v daném okamžiku, otevřená trasa sítě a měření spalného tepla ve všech předávacích nebo směšovacích bodech, nebo omezení rozsahu kolísání dodávaných výhřevností, je další technickou možností dynamický výpočet hodnoty spalného tepla z hodnot spalných tepel na vstupech plynárenské sítě. Vzhledem ke složitosti těchto systémů (měřicích systémů pro stanovení energetické hodnoty energetických plynů a jejich směsí) je pro kontrolu správné funkce nutné provádět pravidelné porovnávání vypočtených hodnot kvality plynu s výsledky měření referenčních měřicích zařízení, která musí být umístěna ve vybraných bodech sítě. Měřicí systém pro stanovení energetické hodnoty energetických plynů a jejich směsí je tedy komplexní systém, ve kterém probíhá měření množství (objemu) plynu, měření kvality plynu, měření tlaku plynu a měření teploty plynu.

Položka 8.3.3 Analyzátoři chemického složení energetických plynů a jejich směsí – zahrnuje měřidla pro měření chemického složení degazačního plynu a biometanu, která jsou v porovnání s procesním plynovým chromatografem konstrukčně jednodušší, tedy levnější a méně citlivé na kvalitu provozních podmínek. Analyzátoři chemického složení biometanu se mohou stát vhodnou alternativou k procesním plynovým chromatografům, resp. je za určitých okolností a podmínek mohou především v lokálních sítích nahradit.

V případě druhů stanovených měřidel nově zavedených do druhového seznamu platí přechodné ustanovení (čl. II odst. 2 vyhlášky č. 127/2024 Sb.), podle kterého je u předmětných položek druhového seznamu stanovena povinnost schvalování typu a ověřování od 1. ledna 2026. Je tak vytvořen časový prostor jak pro výrobce, kteří budou žádat o schválení typu měřidla, tak pro metrologické orgány, které stanoví technické a metrologické požadavky a metody zkoušek pro schválení typu a ověřování pro příslušné nové druhy stanovených měřidel. V případě položky 2.2.2 (Měřidla a měřicí sestavy proteklého množství stlačeného plynu pro pohon motorových vozidel) se odložení účinnosti vztahuje jen na případy, kdy je médiem jiný než stlačený zemní plyn (např. vodík), pro který regulace trvá již z předchozí právní úpravy (viz položka 1.3.14 přílohy k vyhlášce č. 345/2002 Sb. před novelou).

Z pohledu uživatelů stanovených měřidel jsou důležité změny doby platnosti ověření, které se promítnou do evidencí jimi používaných stanovených měřidel a do plánování předkládání těchto měřidel k ověření.

Položky, u kterých dochází ke **změně doby platnosti ověření**

1.1.1	Hmotné délkové měřky	5 let
2.1.1	Měřidla proteklého množství vody	
a)	měřidla proteklého množství studené pitné vody a teplé vody – mechanické vodoměry	5 let
b)	měřidla proteklého množství studené pitné vody a teplé vody – statické vodoměry	8 let
4.1.2	Měřidla tepelné energie a jejich členy	
a)	kompaktní měřidla tepelné energie	5 roků
b)	snímače průtoku a měřidla proteklého množství	5 roků
c)	snímače teploty	5 roků
f)	vyhodnocovací jednotky kombinovaných měřidel tepelné energie	5 roků
4.1.3	Teploměry pro kontrolu teplot stanovených právními předpisy o potravinách a pokrmích používané kontrolními orgány	2 roky
4.1.4	Teploměry pro kontrolu teploty prostředí a teplé užitkové vody s dělením 0,1 °C a lepším používané kontrolními orgány	
a)	skleněné	bez omezení
5.1.1	Indukční elektroměry pro střídavý proud	
b)	pro měření elektrické energie ve spojení s měřicími transformátory	5 let
5.1.2	Statické elektroměry pro střídavý proud	
b)	pro měření elektrické energie ve spojení s měřicími transformátory	5 let

Pozn. K prodloužení doby platnosti ověření dojde rovněž v případě kladného výsledku statistické výběrové zkoušky specifikovaného souboru membránových plynoměrů do velikosti G6 (ze 4 na 5 let).

Další změny, které se týkají položek, u kterých dochází k **úpravě specifikace**, ke **změně názvu**, **rozdělení nebo obsahu** jsou patrné z Porovnávací tabulky druhového seznamu stanovených měřidel, která je spolu s pracovním zněním vyhlášky č. 345/2002 Sb. umístěna na webu ÚNMZ (<https://unmz.gov.cz/metrologie/metrologicky-system/pravni-predpisy-v-oblasti-metrologie/>).

Položky, u kterých dochází ke **změně povinnosti schválení typu**

Butyrometry – jedná se o skleněné butyrometry, které se vyrábí z rozměrově stálého homogenního materiálu, kde nedochází ke změnám základních metrologických vlastností. Tyto

metrologické vlastnosti se dostatečně prokazují při prvotním ověřování (přímo u výrobce) a není tedy nutné provádět schválení typu. Podle zjištění u jediného českého výrobce těchto měřidel (KAVALIERGLASS, a.s) se nevyrábí ani nevyvíjí žádné nové typy butyrometrů. Navrhované upuštění od schválení typu je prakticky konzistentní s dalšími měřidly, u kterých je od schválení typu upuštěno, tzn. odměrné baňky, byrety a pipety, viz § 2 vyhlášky č. 345/2002 Sb.

Položky, které jsou ze stávajícího druhového seznamu stanovených měřidel vypouštěny

1. Měřická pásma – druh měřidel je nově zahrnutý v položce 1.1.1 hmotné délkové měrky.
2. Taxametry – druh měřidel je nově zahrnutý v položce 3.2.3 „Měřicí sestavy taxametru vozidel taxislužby“. Taxametry se samostatně již dlouhodobě nepoužívají, jsou uváděny na trh harmonizovanými postupy posouzení shody, následně se montují do měřicích sestav taxametrů a jsou ověřovány v rámci ověření celé měřicí sestavy taxametru.
3. Stroje na měření plochy usní – měřidla tohoto druhu se dlouhodobě neověřují, v praxi se již nepoužívají.
4. Kovové odměrné nádoby – měřidla tohoto druhu se dlouhodobě neověřují, v praxi se již pro účely § 3 odst. 3 zákona o metrologii nepoužívají.
5. Sedimentační (Westergrenovy) pipety – tyto pipety se již dlouhodobě neověřují, v praxi se využívají jednorázové (plastové) pipety.
6. Položka 1.3.5 a) přepravní sudy s výjimkou sudů uvedených v bodě b) - měřidla tohoto druhu se dlouhodobě neověřují, v praxi se již pro účely § 3 odst. 3 zákona o metrologii nepoužívají. Přepravní sudy používané pro účely § 3 odst. 3 zákona o metrologii jsou výhradně z korozivzdorných materiálů (viz bod b) původní položky 1.3.5).
7. Položka 1.3.6 c) betonové a zděné skladovací nádrže – měřidla tohoto druhu se dlouhodobě neověřují, v praxi se již pro účely § 3 odst. 3 zákona o metrologii nepoužívají. Skladovací nádrže používané pro účely § 3 odst. 3 zákona o metrologii se vyrábějí z jiných materiálů.
8. Indukční elektroměry proudu vyrobené do 31. prosince 1989 – návrh na upuštění od regulace je vztažen k dlouhodobé praxi. Jedná se o zastaralé elektroměry, které distributoři elektrické energie již nahrazují novějšími druhy elektroměrů (statickými).

9. Optické radiometry pro spektrální oblast 400 nm až 2800 nm a měření vyzařování v rozsahu $10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ až $102 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ – optické radiometry se při zjišťování expozice UV záření nepoužívají (s významem podle § 3 odst. 3 zákona o metrologii).
10. Hranolové refraktometry s chybou měření indexu lomu menší nebo rovnou $\pm 2 \cdot 10^{-4}$ a hranolové refraktometry s chybou měření indexu lomu menší nebo rovnou $\pm 5 \cdot 10^{-5}$ – tato měřidla byla původně používána státními kontrolními orgány pro účely s významem podle § 3 odst. 3 zákona o metrologii. Nyní se již s tímto významem nepoužívají.

Vyhláška v neposlední řadě stanovuje druhy měřidel, u nichž bude možné na základě kladného výsledku statistické výběrové zkoušky prodloužit dobu platnosti ověření, dále druhy měřidel, u nichž bude platnost ověření podmíněna provedením zkrácené zkoušky a druhy měřidel, u kterých se neprovádí schvalování typu. V těchto případech jde o změnu či doplnění ustanovení, která byla obsahem vyhlášky i před její novelou.

Jedním z přínosů novely vyhlášky č. 345/2002 Sb. je také uvedení případů (v druhovém seznamu přílohy k vyhlášce), kdy je po kladném výsledku ověření stanoveného měřidla vydáván ověřovací list. Stanovení toho, kdy je vydáván ověřovací list odstraňuje právní nejistotu a zpřehledňuje stav věci.

Staropřístupové směrnice

Tak zvané staropřístupové směrnice byly harmonizačními právními předpisy Evropského hospodářského společenství (EHS), které stanovovaly technické a metrologické požadavky na některé druhy (kategorie) měřidel v sedmdesátých letech minulého století a byly původně zvláštními směrnicemi ke směrnici Rady 71/316/EHS ze dne 26. července 1971 o sbližování právních předpisů členských států týkajících se společných ustanovení pro měřicí přístroje a pro metody metrologické kontroly. Směrnice Rady 71/316/EHS byla následně nahrazena směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2009/34/ES, která kromě „přístrojů“ (dle čl. 1 bodu 1 písm. a) směrnice) zastřešila i další oblasti legální metrologie, v nichž byly vydány harmonizační předpisy Evropského společenství (ES), tzn. jednotky měření a výrobky v hotovém balení.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/34/ES, dosud platná, je tedy rámcovou směrnicí, která v případě měřidel (dle terminologie směrnice „přístrojů“) stanovila postupy ES schválení typu a ES prvotního ověření (dříve EHS).

Pro právní předpisy typu směrnice (ES/EU) platí povinnost členských států transponovat je do právních řádů jednotlivých členských států, a to byl i případ České republiky, která se připravovala na vstup do Evropského společenství/Evropské unie.

(pozn.: V prosinci 1990 zahájilo Československo s Evropským (hospodářským) společenstvím rozhovory o uzavření asociační dohody. EU vznikla v roce 1993 na základě Smlouvy o Evropské unii, známější jako Maastrichtská smlouva, nahradila tak Evropské hospodářské společenství. V letech 1993 – 2009 fungovala EU jako Evropské společenství. Nabytím účinnosti Lisabonské smlouvy v prosinci 2009 došlo k zániku systému tří pilířů EU a zániku Evropského společenství v této podobě. Přijetí deseti nových členských států do EU včetně ČR proběhlo k datu 1. 5. 2004.)

V roce 2000 tak byla ve sbírce zákonů (částka 91 ze dne 26. září 2000) zveřejněna první sada vyhlášek Ministerstva průmyslu a obchodu, které transponovaly právo EU. Směrnice Rady 71/316/EHS byla transponována vyhláškou MPO č. 332/2000 Sb., kterou se stanoví některé postupy při schvalování typu a ověřování stanovených měřidel označovaných značkou EHS. Zvláštní směrnice byly postupně transponovány vyhláškami: vyhláška č. 333/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na vodoměry na teplou vodu označované značkou EHS; vyhláška č. 334/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na vodoměry na studenou vodu označované značkou EHS; vyhláška č. 335/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na taxametry označované značkou EHS; vyhláška č. 336/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na plynoměry označované značkou EHS; vyhláška č. 337/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na měřidla označovaná značkou EHS používaná pro měření tlaku vzduchu v pneumatikách silničních vozidel; vyhláška č. 338/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na elektroměry označované značkou EHS; vyhláška č. 339/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na hmotné délkové měrky označované značkou EHS; vyhláška č. 21/2001 Sb., kterou se stanoví požadavky na průtokoměry pro kapaliny jiné než voda označované značkou EHS a na přídatná zařízení k těmto průtokoměrům; vyhláška č. 22/2001 Sb., kterou se stanoví požadavky na měřicí systémy pro kapaliny jiné než voda označované značkou EHS; Vyhláška č. 249/2001 Sb., kterou se stanoví požadavky na automatická kontrolní a třídící vážicí zařízení označovaná značkou EHS; vyhláška č. 250/2001 Sb., kterou se stanoví požadavky na pásové dopravníkové váhy označované značkou EHS; vyhláška č. 29/2002 Sb., kterou se stanoví požadavky na měřicí přístroje pro měření objemové hmotnosti obilí, označované značkou EHS; vyhláška č. 30/2002 Sb., kterou se stanoví postupy při ověřování nádrží používaných jako měřidla, které jsou umístěny na plavidlech a označované značkou EHS; vyhláška č. 31/2002 Sb., kterou se stanoví požadavky na lihoměry a hustoměry na líh, označované značkou EHS; Vyhláška č. 32/2002 Sb., kterou se stanoví požadavky na závaží vyšší než střední třídy přesnosti od 1 mg do 50 kg, označovaná značkou EHS a vyhláška č. 33/2002 Sb., kterou se stanoví požadavky na pravoúhlá závaží střední třídy přesnosti od 5 kg do 50 kg a válcová závaží střední třídy přesnosti od 1 g do 10 kg, označovaná značkou EHS. Přístup poměrně podrobné specifikace požadavků na měřidla, který byl uveden ve zvláštních směrních, však neumožňoval pružnou reakci na technický vývoj, a proto byl tento „starý přístup“ nahrazen

směrnicemi nového přístupu, který prezentovala v případě měřidel směrnice o měřicích přístrojích 2004/22/ES (MID), následně přepracovaná na směrnici 2014/32/EU o dodávání měřidel na trh.

V souvislosti s vydáním směrnice **2004/22/ES** a v rámci přechodných ustanovení směrnice 2009/34/ES byly zvláštní směrnice („starého přístupu“) postupně rušeny. S účinkem od 30. října 2006 byly zrušeny zvláštní směrnice druhů měřidel, které „přešly“ pod MID, tzn. týkající se plynoměrů; průtokoměrů pro kapaliny jiné než voda; přídavných zařízení k průtokoměrům pro kapaliny jiné než voda; hmotných délkových měrek; vodoměrů na studenou vodu, pokud jde o měřidla definovaná v příloze MI-001 směrnice 2004/22/ES; kontinuálních součtových měřicích zařízení (dopravníkové váhy); elektroměrů; taxametrů; měřicích systémů pro kapaliny jiné než voda; automatických kontrolních a třídících vážicích zařízení a vodoměrů na teplou vodu. Tato měřidla bylo možné dodávat na trh EU nejdéle do 30. října 2016 (omezení doby platnosti certifikátů schválení typu, které byly vydány s neomezenou platností). Směrnicí Evropského parlamentu a Rady **2011/17/EU** byla s účinkem od 1. července 2011 zrušena zvláštní směrnice týkající se kalibrace nádrží na plavidlech; s účinkem od 1. prosince 2015 byly zrušeny zvláštní směrnice týkající se měření objemové hmotnosti obilí; vodoměrů na studenou vodu; lihoměrů a hustoměrů na líh a měřidel tlaku vzduchu v pneumatikách motorových vozidel, přičemž certifikáty schválení typu vydané do 30. listopadu 2015 zůstávají v platnosti **do 30. listopadu 2025** (tedy po maximální dobu platnosti certifikátu – 10 let) a dále byly s účinkem od 1. prosince 2015 zrušeny zvláštní směrnice týkající se pravoúhlých závaží střední přesnosti od 5 kg do 50 kg a válcových závaží střední přesnosti od 1 do 10 kg a závaží vyšší než střední přesnosti od 1 mg do 50 kg, přičemž závaží vyhovující uvedeným směrnici mohou být **do 30. listopadu 2025** předmětem ES prvotního ověření. Příslušné vyhlášky Ministerstva průmyslu a obchodu, které transponovaly výše uvedené zrušené směrnice ES, byly v českém právním řádu zrušeny vyhláškou **č. 125/2015 Sb.** (část druhá – zrušení některých vyhlášek Ministerstva průmyslu a obchodu).

Vzhledem k tomu, že ke směrnici Evropského parlamentu a Rady 2009/34/ES již od roku 2015 není platná žádná zvláštní směrnice a že harmonizace v oblasti uvádění měřidel na trh bude probíhat v souladu s novým legislativním rámcem (NLF), tzn. prostřednictvím směrnice MID, stává se směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/34/ES ve své části dle čl. 1 odstavec 1 a) „prázdnou“.

Změna a přezkum směrnic MID a NAWID

Směrnice Evropského parlamentu a Rady **2014/32/EU** o dodávání měřidel na trh (MID) a směrnice **2014/31/EU** o vahách s neautomatickou činností (NAWID) transponované do právního řádu ČR **zákonem č. 90/2016 Sb.**, o posuzování shody stanovených výrobků při jejich dodávání na trh a navazujícími nařízeními vlády **č. 120/2016 Sb.**, o posuzování shody měřidel při jejich

dodávání na trh a **č. 121/2016 Sb.**, o posuzování shody vah s neautomatickou činností při jejich dodávání na trh, podléhají, stejně jako jiné právní akty EU přezkumu toho, zda jsou jejich cíle dostatečně naplňovány s ohledem na technický a hospodářský vývoj v Evropské unii. Z toho důvodu zahájila Evropská komise (EK) v roce 2022 aktivity s cílem analyzovat evropský trh s měřidly a s neautomatickými vahami včetně změn / trendů od přijetí a poslední změny, shromáždit údaje o fungování MID a NAWID z pohledu občanů, podniků a orgánů státní správy, posoudit rozsah a dopad trendů na trhu, technologického vývoje a společenských změn, a to zejména od roku 2014 a identifikovat dostatečnost směrnic pro aktuální vznikající potřeby a naplňování strategických cílů EU (včetně příspěvku k dosažení cílů udržitelného rozvoje, digitalizace a zelené dohody). V tomto případě se dá mluvit o tzv. dlouhodobě plánovaném přezkumu, jehož výsledkem má být hodnotící studie/zpráva, kterou by měla EK obdržet v tomto roce a na jejímž základě EK rozhodne, zda bude nutné směrnice změnit či doplnit. Přezkum byl zadán společnosti **CSES** Europe (Centre for Strategy & Evaluation Services), která pro EK již řadu analýz v minulosti prováděla a která na začátku roku 2023 práci na hodnotící studii směrnic MID a NAWID zahájila. Již počátkem roku 2022 byla Evropskou komisí oslovena také asociace WELMEC, která je jako organizace pro evropskou spolupráci v legální metrologii jednou z klíčových při shromažďování vstupů z praktického fungování harmonizovaných předpisů EU v oblasti metrologie. K cílenému průzkumu k hodnotící studii směrnic 2014/31/EU o vahách s neautomatickou činností (NAWID) a 2014/32/EU o měřidlech (MID) se mohla veřejnost připojit na konci roku 2024 – viz oznámení v aktualitě uveřejněné 30. října na webu ÚNMZ (*Cílený průzkum k hodnotící studii směrnic 2014/31/EU o vahách s neautomatickou činností (NAWID) a 2014/32/EU o měřidlech (MID)*).

Mimo výše uvedený plánovaný přezkum směrnic MID a NAWID zahájila EK v roce 2023 proces rychlé cílené technické změny směrnice **MID** (tzv. **fast track**), která je nezbytná pro dosažení cílů tzv. Zelené dohody pro Evropu, ekologickou a digitální transformaci, tzn. cílů vytyčených ještě v minulém složení EK.

Také v tomto případě byla oslovena asociace WELMEC, a to s velmi krátkými termíny pro předání jejích stanovisek EK. Dotčené pracovní skupiny (podle rozsahu záměru EK) WELMEC, stejně jako výkonná rada WELMEC v čele s předsedou RNDr. Klenovským, tak během několika měsíců (červen až říjen 2023) zpracovaly návrhy na technické změny směrnice MID, které považovaly za urgentní. Původní záměr, tj. vydat technickou změnu směrnice MID tzv. delegovaným aktem EK, byl nakonec změněn (vzhledem k přesahu, který návrh změny směrnice nakonec měl a má, tj. doplnění nové zvláštní přílohy/příloh) a změna směrnice je tedy projednávána standardním (řádným) legislativním procesem v Evropské radě a parlamentu. V současnosti se návrhem směrnice Evropské rady a parlamentu, kterou se mění směrnice 2014/32/EU, zabývá pracovní skupina PS G7 pro technickou harmonizaci. V této pracovní skupině zastupuje ČR pracovník

ÚNMZ. Návrh představila EK poprvé na jednání pracovní skupiny PS G7 dne 12. prosince 2024. Tím, že byla změna směrnice na počátku vymezena jako cílená technická změna, zahrnuje návrh pouze obsahově úzce zaměřené změny. Další (širší) změny směrnice mohou nastat až po vyhodnocení přezkumu směrnic MID a NAWID – viz výše.

Prvotní návrh (na projednávání v PS G7) zahrnoval:

- technické úpravy **přílohy I** MID týkající se **základních požadavků**, na které se směrnice vztahuje (změna **definice přímého prodeje, změny v indikaci výsledku měření** pro plynoměry a elektroměry, ad.),
- technické úpravy **přílohy IV** MID týkající se **plynoměrů a přepočítávačů množství** (úprava definic plynoměru a přepočítávače množství plynu, úprava zvláštních požadavků na přepočítávač množství a stanovení nových zvláštních požadavků na zařízení pro stanovení výhřevnosti plynu),
- technické úpravy **přílohy V** MID týkající se **elektroměrů** k měření činné energie s ohledem na technologický vývoj (včetně zahrnutí elektroměrů na stejnosměrný proud),
- doplnění **nové přílohy Va** do MID týkající se **dobíjecích zařízení elektrických vozidel**,
- technické úpravy **přílohy VI** MID týkající se **měřidel tepelné energie** s cílem zahrnout měřidla tepelné energie pro chladicí aplikace (tzn. zahrnutí měřidel chladu),
- doplnění **nové přílohy VIIa** do MID týkající se **výdejních stojanů stlačeného plynu** (tzn. např. CNG) v souladu s harmonizovanými základními požadavky.

Mezi další změny (úpravy) ČR navrhuje například:

- do přílohy I směrnice MID týkající se základních požadavků, na které se směrnice vztahuje, doplnit základní požadavky na všechna měřidla, která mají povahu inteligentních měřidel používaných distribučními společnostmi (tzv. komunální měřidla, utility meters, tj. elektroměry, plynoměry, měřidla tepelné energie a vodoměry)
- do přílohy V směrnice MID týkající se elektroměrů k měření činné energie doplnit elektroměry pro měření jalové energie a stanovit požadavky na střídavé elektroměry pro měření činné a jalové energie a na stejnosměrné elektroměry v souladu s příslušnými evropskými normami.

Pozn.: Funkce měření jalové složky elektrické energie u elektroměrů a měření chladu u měřidel tepelné energie nespádají pod MID, proto je před dodáváním elektroměrů a měřidel tepelné energie s těmito funkcemi na trh nutné národní schválení typu (pokud je předmětné měřidlo s touto funkcí pod národní regulací v tom kterém členském státě EU). Tento nedostatek v harmonizaci je výrobci, notifikovanými subjekty i národními regulátory v metrologii dlouhodobě

vnímán jako zbytečná zátěž s nároky na provedení dalších zkoušek (na národních úrovních členských států EU).

- upřesnit rozsah působnosti nové přílohy Va směrnice MID týkající se dobíjecích zařízení elektrických vozidel tak, aby se vztahovala pouze na veřejné dobíjecí stanice elektromobilů, nikoliv např. na nástěnné nabíječky pro domácí použití.

Projednávání návrhu EK i připomínek jednotlivých členských zemí je poměrně intenzivní, s cílem dosáhnout shody nad kompromisním návrhem, který by byl průchozí v Radě a Parlamentu EU a který by v tomto roce vyústil v přijetí směrnice, která by směrnicí MID změnila. Do českého právního řádu by se změna směrnice MID promítnula v podobě nařízení vlády, kterým by se právní předpis EU transponoval (jednalo by se o změnu nařízení vlády č. 120/2016 Sb. – viz výše), a to podle doby transpozice stanovené v novelizující směrnici MID.

Digitální kalibrační certifikát

Ing. David Mahovský, ČMI OI Praha

Úvod

Digitalizace v oblasti metrologie představuje klíčový krok k modernizaci procesů spojených s kalibrací měřidel. Návrh a realizace digitálních kalibračních certifikátů (DCC), má potenciál zásadně zefektivnit výměnu a uchovávání kalibračních údajů. Zavedení DCC je přímou reakcí na požadavky Průmyslu 4.0, jenž prosazuje využití automatizace, internetu věcí (IoT), strojového učení a digitálního zpracování dat ve všech průmyslových procesech [1].

Tradice papírových kalibračních listů již neodpovídá požadavkům na rychlost, bezpečnost a strojové zpracování. Přejít na DCC umožňuje zefektivnit sběr, a především vyhodnocení dat, zajistit jejich archivaci i elektronické sdílení v souladu s aktuálními požadavky norem a směrnic (např. ČSN EN ISO/IEC 17025).

Digitální transformace procesu kalibrace

Průmysl 4.0 zahrnuje implementaci Internetu věcí (IoT), umělé inteligence (AI) a Big data, které umožňují propojení fyzických zařízení s digitálními systémy. Tato integrace umožňuje autonomní řízení výroby, prediktivní údržbu a optimalizaci procesu v reálném čase. [2] Digitální transformace podporovaná Průmyslem 4.0 zvyšuje efektivitu, flexibilitu a přizpůsobivost podniku v rychle se měnícím globálním prostředí. V kontextu digitální transformace představuje DCC klíčový nástroj pro zvýšení transparentnosti a efektivity metrologických procesů. Průmysl 4.0 integruje pokročilé technologie jako IoT, AI a Big Data do výrobních procesů. Tyto nástroje umožňují realizovat tzv. chytré laboratoře a továrny, kde měřicí přístroje přímo komunikují s centrálním systémem a automatizovaně poskytují data ke zpracování.

V rámci přechodu z analogového do digitálního prostředí rozlišujeme tři základní pojmy [3]

1. **Digitizace**, je konverze analogového obsahu do digitálního formátu. Tento proces zahrnuje skenování papírových dokumentů, transformaci zvuku nebo videa do digitální podoby, a ukládání těchto dat v digitální podobě pro snadnější přístup a zpracování. Digitizace je prvním a spíše přechodným krokem v digitální transformaci.
2. **Digitalizace** se zaměřuje na použití digitálních technologií ke změně obchodního modelu a vytvoření nových příležitostí k vytváření hodnot. Je to proces přechodu na digitální podnikání, kde digitální technologie mění způsob, jakým firmy fungují a interagují se svými zákazníky a partnery. Digitalizace zahrnuje například automatizaci rutinních úkonů, minimalizování používání papíru a zlepšení interních procesů.

3. **Digitální transformace** je komplexní proces, který přesahuje samotnou implementaci technologií. Jedná se o strategii, která mění celý obchodní model, firemní kulturu a pracovní procesy. Digitální transformace zahrnuje adopci digitálních technologií, ale také vyžaduje zásadní změny v organizační struktuře a přístupu k zákazníkům. Je to více o lidech než o technologiích.

FAIR principy a bezpečnost dat

V rámci vědecké a publikační činnosti je třeba dodržovat základní principy podoby dat. Tyto principy vycházejí ze strojové zpracovatelnosti dat a byly definovány v časopise Scientific Data [4]. Principy dostaly zkratku FAIR (počáteční písmena hlavních pilířů Findable, Accessible, Interoperable, Reusable). Jedná se směrnice pro publikování dat s ohledem na jejich digitální zpracování a následné užívání jak lidmi, tak stroji. Data respektující FAIR principy by měla být vyhledatelná, přístupná, strojově čitelná a zpracovatelná, také znovupoužitelná bez změny své povahy. Každý z pilířů obsahuje konkrétnější kritéria, která by se měla dodržovat vzhledem k optimalizaci přístupu k těmto datům

- **Findable (dohledatelnost)** – unikátní a perzistentní identifikátor (např. DOI)
- **Accessible (přístupnost)** – uchování metadat a případná dostupnost dat i při expiraci
- **Interoperable (propojitelnost)** – použití otevřených standardů umožňujících spolupráci napříč systémy
- **Reusable (znovupoužitelnost)** – licencování, úplná dokumentace a popis zdrojů dat

Kromě FAIR musí být DCC odolné vůči manipulaci a neoprávněným zásahům. To je zajištěno pokročilým nebo kvalifikovaným elektronickým podpisem, který umožňuje ověřit integritu a autenticitu certifikátu. Dále je možné implementovat řízení přístupu k datům (např. přes digitální certifikáty nebo přístupová práva).

Výběr a porovnání datových formátů

Digitální kalibrační certifikát (DCC) je moderní verzí stávající papírové formy kalibračních listů. DCC tak musí splňovat stejné požadavky jako papírové verze (např. požadavky ČSN EN ISO/IEC 17025), ale navíc musí plnit nároky digitálního světa (např. multiplatformní čitelnost, strojovou čitelnost a bezpečnost atd.) Mezi vhodné formáty aktuálně řadíme XML, JSON, YAML, případně NEON (velice podobný jako YAML)

- **XML** – vhodný pro validaci a pevně definovanou strukturu [5]
- **JSON** – přehledný a efektivní pro přenos dat přes webové služby [6]
- **YAML** – čitelný formát vhodný pro konfigurační soubory a ruční úpravy [7]
- **NEON** – český formát pro PHP, vhodný pro konfigurační záznamy [8]

Hybridní formát v podobě PDF/A-3

Strojově čitelný formát je základem digitálního certifikátu, nicméně přechod z papírové do digitální verze nemusí být náročný jen technicky. Aby měl certifikát význam, musí být správně přečten. Aktuálně jsou certifikáty čteny a zpracovávány lidmi, což může způsobit chyby v pochopení nebo v dalším použití hodnot z certifikátu. DCC by měl tento krok v budoucnu odstranit, bohužel aktuálně jsme v situaci, kdy je potřeba zachovat čitelnost pro člověka. Proto se jako vhodná volba zdá zavedení hybridních digitálních certifikátů, tedy využití formátu PDF/A-3 [9] a jeho kontejneru, který dokáže nést další soubory různých formátů. To dává možnost zachovat stávající vzhled kalibračních certifikátů, které se jen rozšíří o digitálně čitelné soubory. Tento způsob je také výhodný kvůli zabezpečení digitálně čitelných dat. Po zapečetění PDF souboru digitálním podpisem, nelze měnit přiložené soubory. Ty lze navíc opatřit kryptografickým šifrováním (například SHA-256 [10],[11]) a tím zajistit zpětné ověření certifikátů, používaných mimo původní kalibrační certifikát.

Přínosy DCC

Implementací digitálních kalibračních certifikátů lze:

- Zkrátit dobu zpracování a snížit chybovost lidského faktoru,
- Umožnit strojovou validaci, vyhledávání a filtrování dat,
- Zajistit splnění požadavků norem. ČSN EN ISO/IEC 17025 a digitálních archivačních směrnic.
- Posílit bezpečnost a auditovatelnost metrologických záznamů.

Zdroje

- [1] Metrology and Quality News. Current status of industry 4.0, 2024. Accessed: 2024- 09-17.
- [2] iScoop. *What is digital transformation? The essential guide to DX*. <https://www.iscoop.eu/digital-transformation/>.
- [3] Gartner. Digitization. <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/digitization>, 2024. Dostupné online.
- [4] Michel DUMONTIER IJsbrand Jan AALBERSBERG et al. WILKINSON, Mark D. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. doi:10.1038/sdata.2016.18.
- [5] W3C. Extensible markup language (xml). <https://www.w3.org/XML/>, 2024. Dostupné online.
- [6] JSON. Introducing json. <https://www.json.org/json-en.html>, 2024. Accessed: 2024-09-30.
- [7] YAML. Yaml ain't markup language (yaml). <https://yaml.org/?utm=22b02>, 2024. Accessed: 2024-07-01.
- [8] NEON. Neon - next-generation energy planning. <https://ne-on.org/>, 2024. Accessed: 2024-06-21.
- [9] PDF Association. *Understanding Private Data in PDF/A*. PDF Association, June 2024. Version 1.0.
- [10] National Institute of Standards and Technology (NIST). FIPS PUB 180-4: Secure Hash Standard (SHS). Technical report, National Institute of Standards and Technology, 2015. <https://csrc.nist.gov/publications/detail/fips/180/4/final>.
- [11] National Institute of Standards and Technology (NIST). Hash functions - nist computer security resource center, 2024. Accessed: 2024-09-30.

150. výročí vzniku metrické konvence a její dopady na metrologii v ČR

Ing. Lenka Kňazovická, Ph.D., ČMI OI Praha



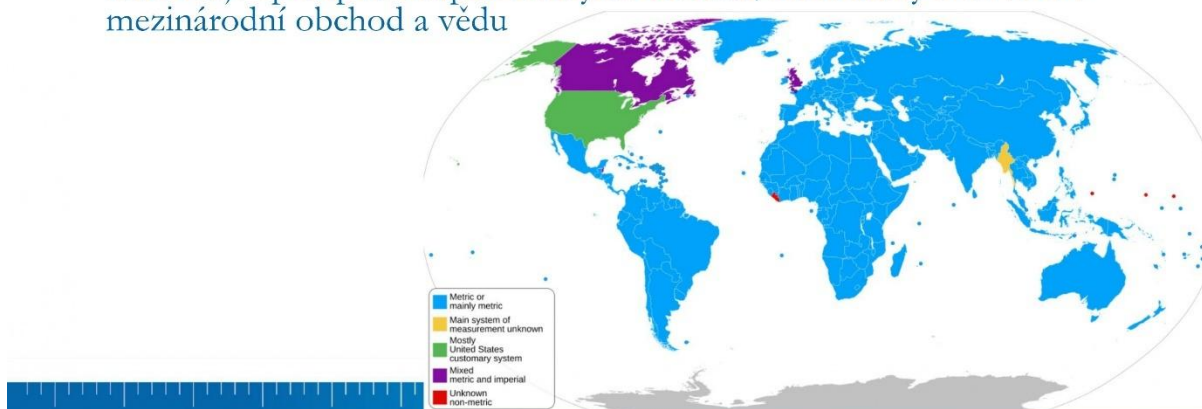
Ing. Lenka Kňazovická, Ph.D.

Konference ČMS, Praha, 26.5.2025
Novinky v oblasti legální, vědecké a průmyslové technologie



Metrická konvence

- mezinárodní mezivládní smlouva uzavřená 20.5.1875 v Sèvres u Paříže zástupci vlád 17 zemí o jednotném přístupu k měření (Argentina, Rakousko-Uhersko, Belgie, Brazílie, Dánsko, Francie, Německo, Itálie, Peru, Portugalsko, Rusko, Španělsko, Švédsko, Norsko, Švýcarsko, Turecká říše, USA a Venezuela).
- Československo se připojuje v r. 1922, Česká republika v roce 1993
- umožňuje spolupráci napříč různými zeměmi/kontinenty a důvěru v mezinárodní obchod a vědu





ČESKÝ
METROLOGICKÝ
INSTITUT

Metrická konvence – historický kontext

- 4. tisíciletí před n.l. – první pokusy o měření, zmínky z Egypta, Indie a Číny
- délkové míry založeny nejčastěji na základě lidského těla, další veličiny na základě dalších běžných věcí (např. zrna pšenice, barva plamene) → problém = nestejnost definovaných jednotek napříč světem
- 11. století – uchovány důkazy o používání některých mír a vah v českých zemích (prst, dlaň, loket, libra, měřic, korec, pole, dědina... - nelze je převést na dnešní metrickou soustavu)
- 1268 – Přemysl Otakar II. nařizuje obnovení měř a vah s cílem dosáhnout metrologické sjednocení
- 13. až 14. st – rozvoj délkových dutých měř a vah s rozvojem obchodu, v Čechách uplatňovány míry a váhy staroměstské, na Moravě míry olomoucké a brněnské
- 16. až 17. st – pražský loket, libra, lán



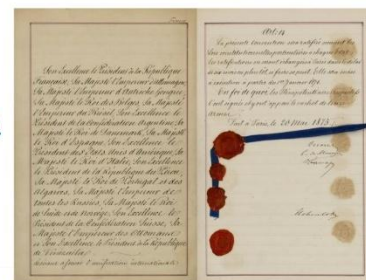
ČESKÝ
METROLOGICKÝ
INSTITUT

Metrická konvence – historický kontext

- 1790 – začátek vývoje metrického systému v Académie des sciences
- 1875 – Metrická konvence, vznik Mezinárodního úřadu pro míry a váhy (BIPM, Sèvres u Paříže)
- 1889 – prototyp kilogramu a metru
- 1893 – Michelson zmiňuje možnou definici metru pomocí záření
- 1913 – mezinárodní teplotní stupnice
- 1948 – rozhodnutí o „SI“ – zavedení pojmů amper, bar, coulomb, farad, Henry, Joule, Newton, ohm, volt, watt, weber, °C
- 1954 – šest základních jednotek „SI“, pojem Kelvin
- 1960 – definice metru jako násobek vlnové délky světla
- 1967 – definice sekundy podle záření Cs 133
- 1971 – zavedení molu

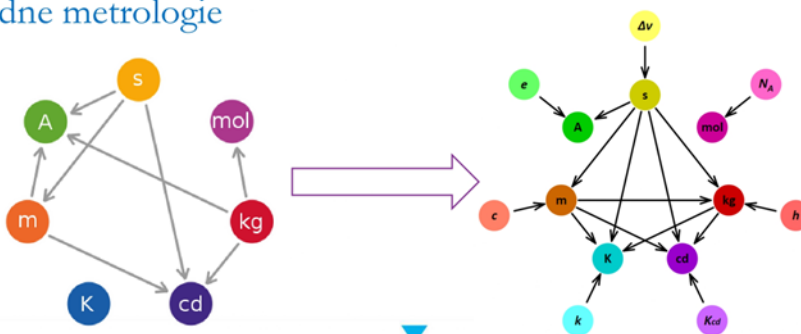


Bureau
International des
Poids et
Mesures



Metrická konvence – historický kontext

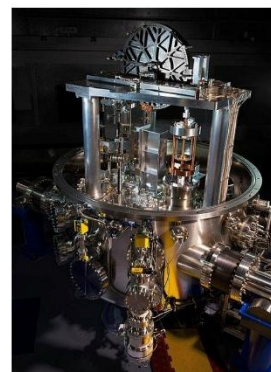
- 1983 – metr předefinován podle rychlosti světla
- 1990 – konvenční hodnoty Josephsonovy a von Klitzingovy konstanty, definice dosud platné teplotní stupnice
- 2011 – návrh revize SI
- 2018 – schválení revize SI
- 20. 5. 2019 – Redefinice mezinárodní soustavy jednotek SI, stanovení světového dne metrologie



5

Metrická konvence – cíle

- Zavedení jednotné soustavy měření.
 - vytvoření univerzální dekadické soustavy jednotek tak, jak to nezbytně vyžadoval rozvoj vědy, výroby a obchodu v polovině 19. století
- Udržování a rozvoj etalonů.
- Spolupráce a porovnávání měřicích systémů.



6

Mezinárodní systém jednotek SI

- Základní jednotky:** kg, m, s, A, K, mol, cd.

- decimální
- jednotky a díly (např. μm , mm, m, km)
- vedlejší jednotky (rad, Hz, V, N, Pa, aj.)
- praktické – koupit si $1,1 \cdot 10^{29} m_e$ nebo 100 g salámu?
- možnost fyzické realizace



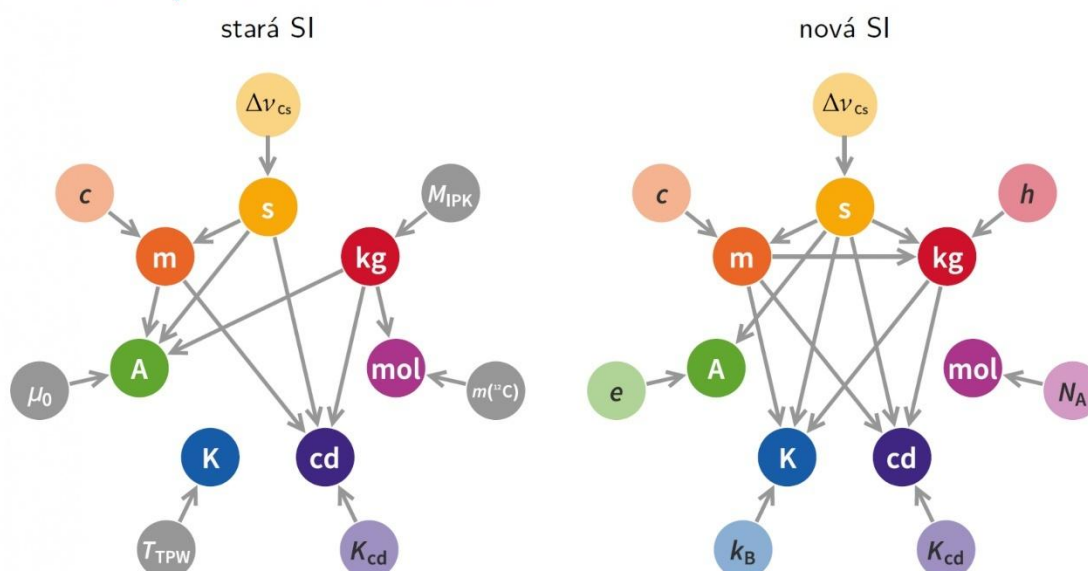
- Proč byla realizována redefinice SI jednotek 20.5.2019?**

- mezinárodní prototyp kilogramu (MPK) je poslední artefakt v SI
- měření malých hmotností má velkou nejistotu
- MPK (asi) ztrácí svou hmotnost
- Elektrické veličiny jsou používány mimo SI (protože nejistoty h a e v SI jsou příliš velké)
- Definice kelvinu je závislá na vlastnostech vody (čistotě, okolních podmínkách)
- mol je závislý na kg

7

Nové definice jednotek

- Přechod k fyzikálním konstantám**

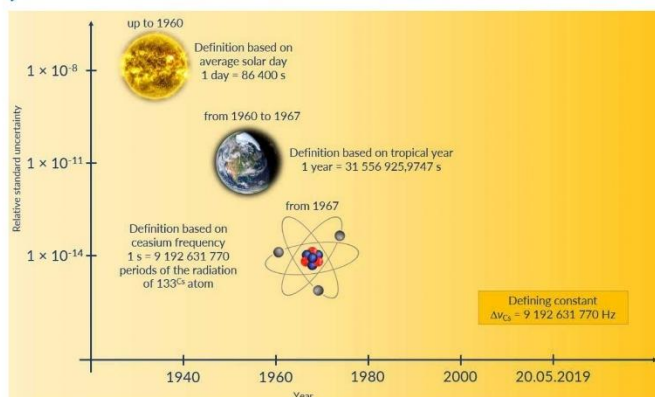
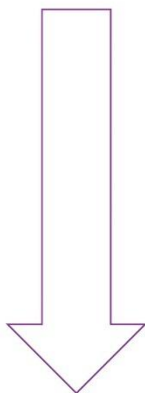

 Emilio Pisanty, 2016-2018. CC BY-SA 4.0, <https://github.com/episanty/SI-unit-relations>

8


 ČESKÝ
METROLOGICKÝ
INSTITUT

Nové definice jednotek

- Sekunda** je doba trvání 9 192 631 770 period záření odpovídajícího **přechodu mezi dvěma hladinami** velmi jemné struktury základního stavu **atomu cesia 133**.



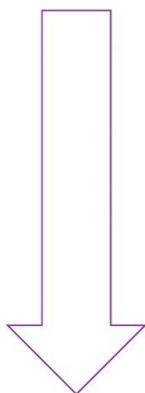
- Sekunda**, značka „s“, je jednotka času v SI. Je definována fixací číselné hodnoty **cesiové frekvence** $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, tedy frekvence přechodu mezi hladinami velmi jemného rozštěpení neporušeného základního stavu atomu cesia 133, aby byla rovna 9 192 631 770, je-li vyjádřena jednotkou Hz, rovnou s^{-1} .

9


 ČESKÝ
METROLOGICKÝ
INSTITUT

Nové definice jednotek

- Metr** je vzdálenost, kterou urazí světlo ve vakuu za dobu 1/299 792 458 sekundy.

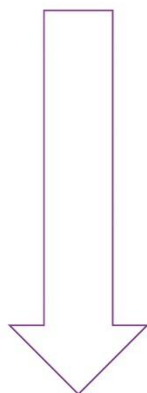


- Metr**, značka „m“, je jednotka délky v SI. Je definována fixací číselné hodnoty **rychlosti světla ve vakuu** c , aby byla rovna 299 792 458, je-li vyjádřena jednotkou $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, kde sekunda je definována pomocí cesiové frekvence $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

10

Nové definice jednotek

- Kilogram** je jednotka hmotnosti; je rovna hmotnosti mezinárodního **prototypu** kilogramu.

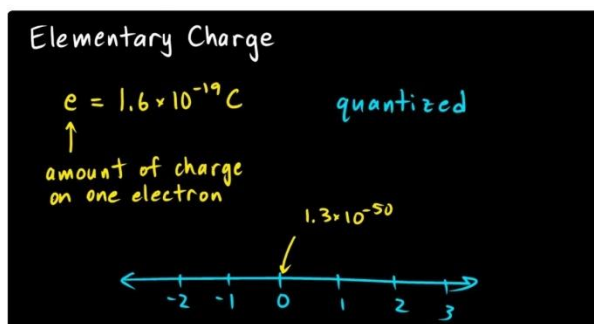
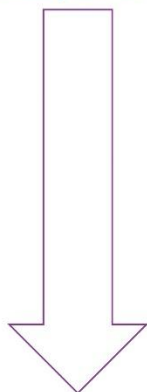


- Kilogram**, značka „kg“, je jednotka hmotnosti v SI. Je definována fixací číselné hodnoty **Planckovy konstanty** h , aby byla rovna $6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$, je-li vyjádřena jednotkou $J \cdot s$, rovnou $kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$, kde metr a sekunda jsou definovány pomocí c a $\Delta\nu_{Cs}$.

11

Nové definice jednotek

- Ampér** je stálý elektrický proud, který protéká dvěma rovnoběžnými nekonečně dlouhými vodiči o zanedbatelném průřezu umístěnými ve vakuu 1 m od sebe, jestliže mezi vodiči působí magnetická síla o velikosti $2 \cdot 10^{-7}$ newtonu na jeden metr délky vodiče.



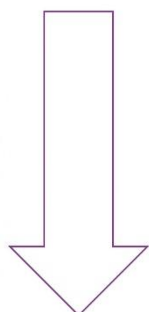
- Ampér**, značka „A“, je jednotka elektrického proudu v SI. Je definována fixací číselné hodnoty **elementárního náboje**, aby byla rovna $1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$, je-li vyjádřena jednotkou C , rovnou $A \cdot s$, kde sekunda je definována pomocí $\Delta\nu_{Cs}$.

12

ČESKÝ
METROLOGICKÝ
INSTITUT

Definice jednotky Kelvin

- Kelvin**, jednotka termodynamické teploty je rovna zlomku $\frac{1}{273,16}$ termodynamické teploty **trojného bodu vody**.



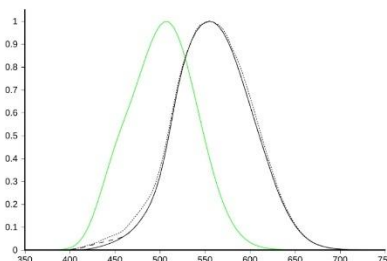
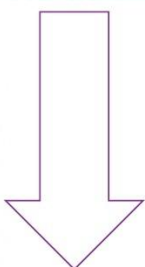
- Kelvin**, značka „K“, je jednotka termodynamické teploty v SI. Je definována fixací číselné hodnoty **Boltzmannovy konstanty**, aby byla rovna $1,380\,649 \cdot 10^{-23}$, je-li vyjádřena jednotkou $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$, rovnou $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, kde kilogram, metr a sekunda jsou definovány pomocí h , c a $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

13

ČESKÝ
METROLOGICKÝ
INSTITUT

Definice jednotky Kelvin

- Kandela** je **svítivost zdroje**, který vydává monochromatické záření o frekvenci $540 \cdot 10^{12}$ Hz, jehož **intenzita** v daném směru je **1/683 wattů na steradián**.

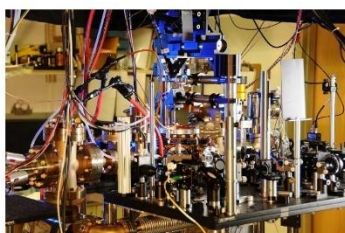


- Kandela**, značka „cd“, je jednotka svítivosti v SI. Je definována fixací číselné hodnoty **světelné účinnosti monochromatického záření** o frekvenci $540 \cdot 10^{12}$ Hz, K_{cd} , aby byla rovna 683, je-li vyjádřena jednotkou $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$, rovnou $\text{cd} \cdot \text{sr} \cdot \text{W}^{-1}$, nebo $\text{cd} \cdot \text{sr} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^3$, kde kilogram, metr a sekunda jsou definovány pomocí h , c a $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

14

Metrická konvence – dopady

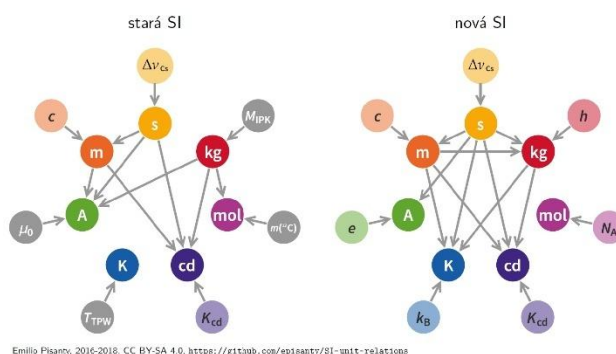
- postupné rozšíření metrické soustavy do téměř všech zemí světa
- standardizace měření v průmyslu
- přenositelnost získaných výsledků měření
- spolupráce ve vědě a technice
- víra ve správnost a férovost měření ve výrobě a v obchodu
- ČR:
 - ve vývoji optické hodiny, akustická plynová termometrie, radiační relativní termometrie
 - změna fund. konstant v SI → změna hodnot etalonů el. odporu a napětí.



15

Shrnutí

- Metrická konvence jako základ spolupráce.
- Trvalý přínos v praxi.
- ČR jako aktivní účastník.



16



ČESKÝ
METROLOGICKÝ
INSTITUT

Oslava 150. výročí metrické konvence

- 20. - 22.5.2025 - speciální akce v Paříži a Versailles (<https://www.bipm.org/en/-/2024-07-24-save-the-date>)
- **Témata:**
 - Budoucnost metrologie
 - 150 let metrického systému
 - Budoucí výzvy globální metrologie
 - Metrologie v kvantové éře
 - Metrologie pro klima
 - FAIR digitální revoluce
 - Nová věda a definice sekundy
 - Budoucí revoluce – měření v přírodních vědách
 - Budoucí revoluce – vesmírná metrologie



BIPM 150
worldmetrologyday.org

17

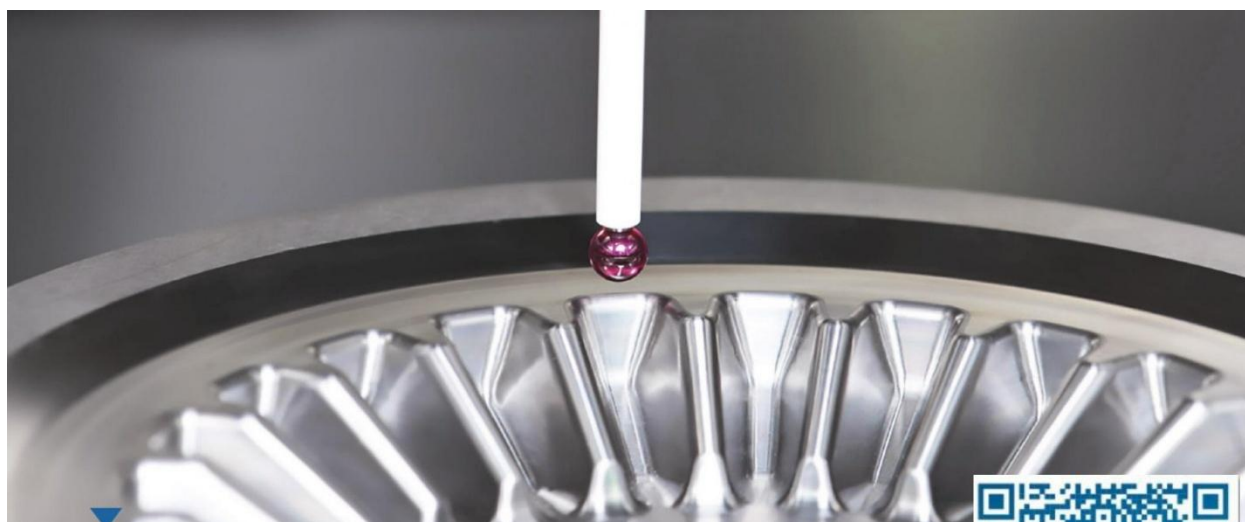


ČESKÝ
METROLOGICKÝ
INSTITUT

Oslava 150. výročí metrické konvence v ČR

- 20.5.2025 – Světový den metrologie, téma Výročí 150. let podepsání Metrické konvence, pod patronátem UNESCO
 - **Den otevřených dveří v ČMI – OI Praha, LPM Praha a OI Brno**
- **Noc vědců 26.9.2025 - LPM Praha a OI Brno**





▼
DĚKUJI ZA POZORNOST

Laboratoře teploty ČMI



Okružní 31, 638 00 Brno, Czech Republic, www.cmi.gov.cz
ČMI OI Praha, Radiová 3, 102 00 Praha 10, lenka.knazovicka@cmi.gov.cz
https://www.cmi.gov.cz/sluzby_1012



Stanovování a potvrzování nejistot laboratoře

Dr. Ing. Radek Strnad, ČMI OI Praha



Stanovování a potvrzování nejistot laboratoře

Radek Strnad



Konference ČMS, K 635-25, Praha, 26. 5. 2025

Obsah

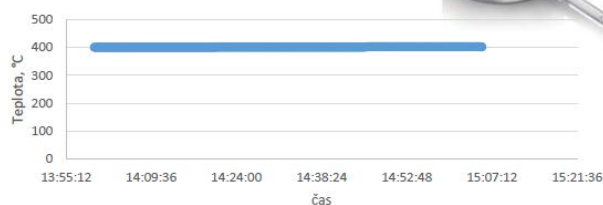
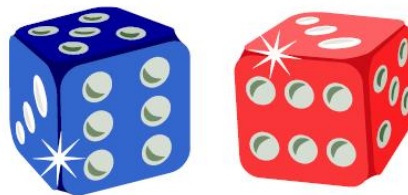
- Stanovování nejistot v laboratořích
- Speciality
 - Chyba interpolace
 - Metoda Monte Carlo
 - Pomoc od umělé inteligence
- Potvrzení úrovně laboratoře - MPZ



Co to znamená?

- Příklady

- Hod kostkou
- Odečet hodnoty
- Stabilita měření
- Dovolená chyba
-



3



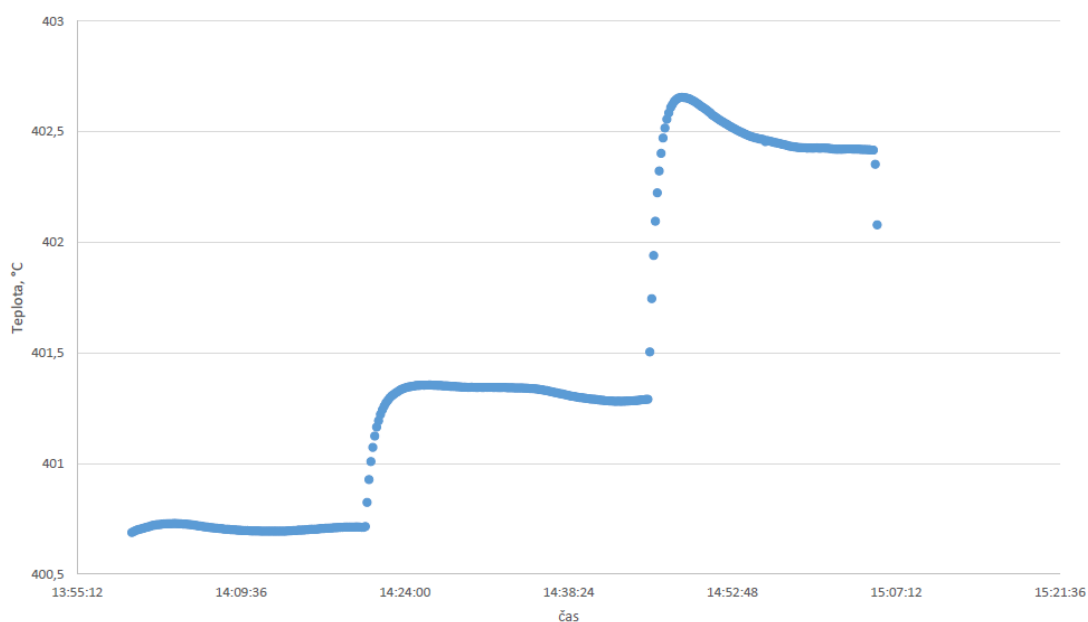
Co to znamená?



4

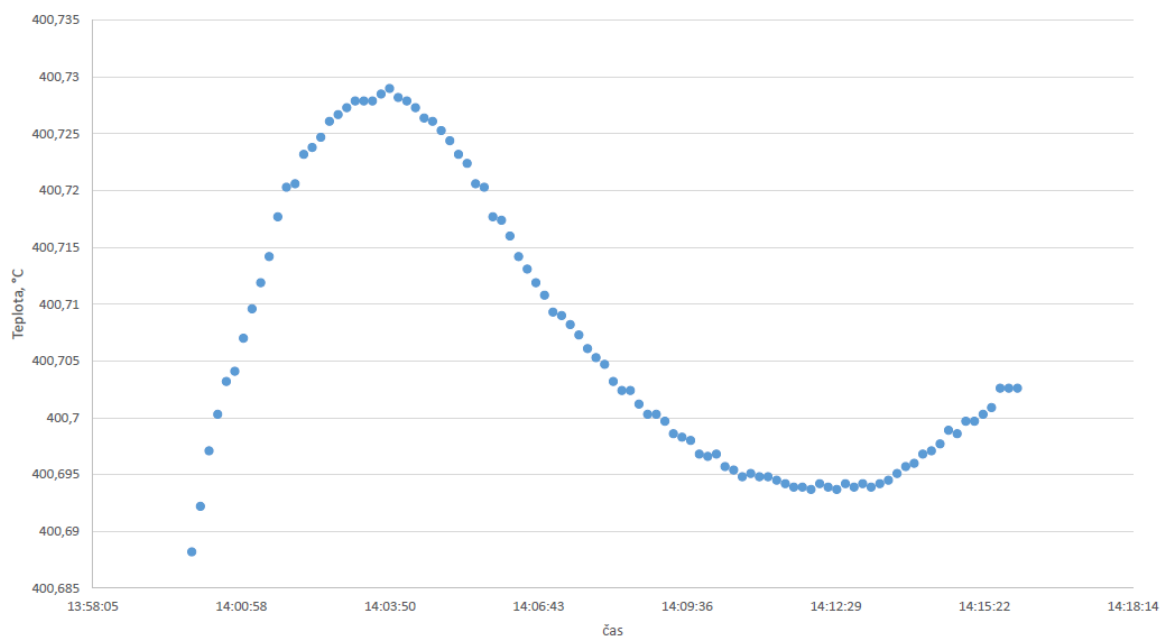


Co to znamená?





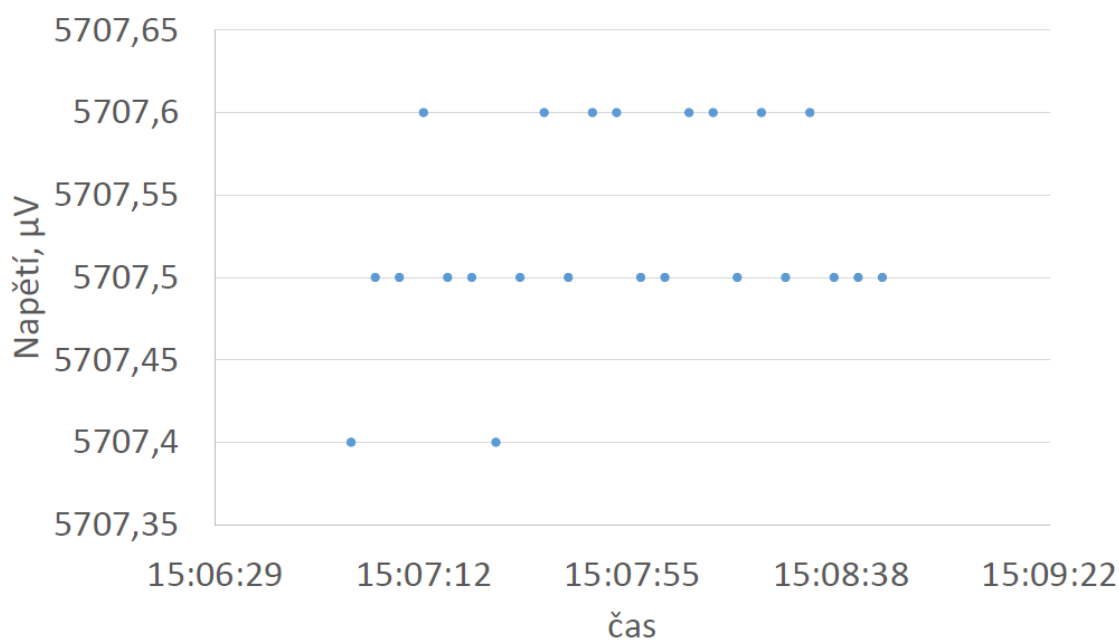
Co to znamená?



7



Co to znamená?



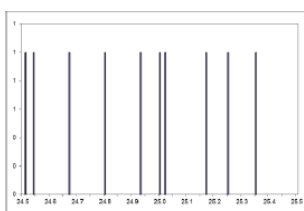
8

Co to znamená?

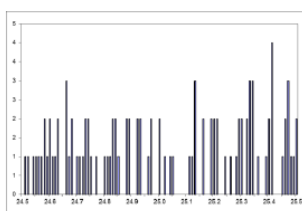
- Mění se poslední digit a nemám ponětí, jak
- Každá hodnota je stejně možná
- Na displeji vidím stupně
 - 25
 - Může být 24,50 až 25,49

• Počet měření

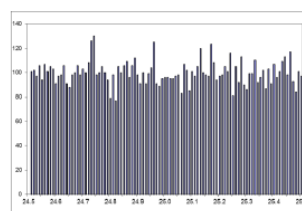
10



100



10 000



9

EA – 4/02

- Měření - proces experimentálního získávání jedné nebo více hodnot veličiny, které mohou být důvodně přiřazeny veličině.
- Jako měřené veličiny jsou označovány ty blíže určené veličiny, které jsou předmětem měření. Při kalibracích se obvykle pracuje pouze s jednou měřenou veličinou, resp. jednou výstupní veličinou Y závislou na určitém počtu vstupních veličin X_i ($i=1, 2, \dots, N$)
- Nejistota měření je parametr s jinou než negativní hodnotou přidružený k výsledku měření, který charakterizuje rozptyl hodnot, jenž by mohly být důvodně přisuzovány k měřené veličině

10

Výpočet nejistoty

- Matematický model měření – závislost výstupní veličiny na různých vstupních veličinách včetně ovlivňujících veličin jako matematickou funkci
- Vyhodnocení údaje
 - Buď odhadujeme μ a σ ze série pozorování (měření) na příslušném statistickém souboru (vyhodnocení nejistoty typu A)
 - Nebo na základě existujících znalostí „odhadneme“ funkci $f(x)$ včetně jejích parametrů (apriorně vybereme funkci, která podle našich znalostí nejlépe odpovídá chování náhodné proměnné) a z výše uvedené rovnice pak vypočteme rozptyl σ (vyhodnocení nejistoty typu B)

11

Výpočet nejistoty – typ A

- Nejistota typu A je

$$u(x) = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

- Centrální limitní věta
 - výběrová střední hodnota arit. průměru (střední hodnota průměrů jednotlivých výběrů) je rovna střední hodnotě μ původního rozdělení
 - tvar rozdělení arit. průměru souboru výběrů se při vzrůstající velikosti vzorku n blíží normálnímu rozdělení
- Ať děláme, co děláme, výsledek je „normální“

12



Výpočet nejistoty – typ B

- Vyhodnocení metodou A představuje tzv. frekvenční přístup ve statistice, na rozdíl od tzv. bayesiánského přístupu, který je založen na stupni víry
- Vyhodnocení metodou B
 - údajů z dříve provedených měření,
 - zkušenosti s chováním a vlastnostmi příslušných materiálů a zařízení nebo jejich obecné znalosti,
 - údajů výrobce,
 - údajů uváděných v kalibračních listech nebo jiných certifikátech,
 - nejistot referenčních údajů převzatých z příruček.

13



Výpočet nejistoty – typ B

Rozdělení	$z_{\max}$	χ	Rozdělení	$z_{\max}$	χ
normální (Gaussovo) 	a	3	rovnoměrné - pravoúhlé 	a	$\sqrt{3}$
trojúhelníkové (Simpsonovo) 	b	2	bimodální - (trojúhelníkové) 	a	$\sqrt{2}$
lichoběžníkové 	a	2,32 $b = \frac{a}{3}$	bimodální (Diracovo) 	a	1
	a	-2,19 $b = \frac{a}{2}$			
	a	-2,04 $b = \frac{2a}{3}$			

14

Kombinovaná nejistota

- Analyticky výpočtem – zákon šíření nejistot
 - Všechny vstupní veličiny jsou nekorelované tj. vzájemně na sobě nezávislé
 - Mezi vstupními veličinami existuje korelace
 - Korekční činitel při zvýšené nelinearitě
- Metodou Monte Carlo

15

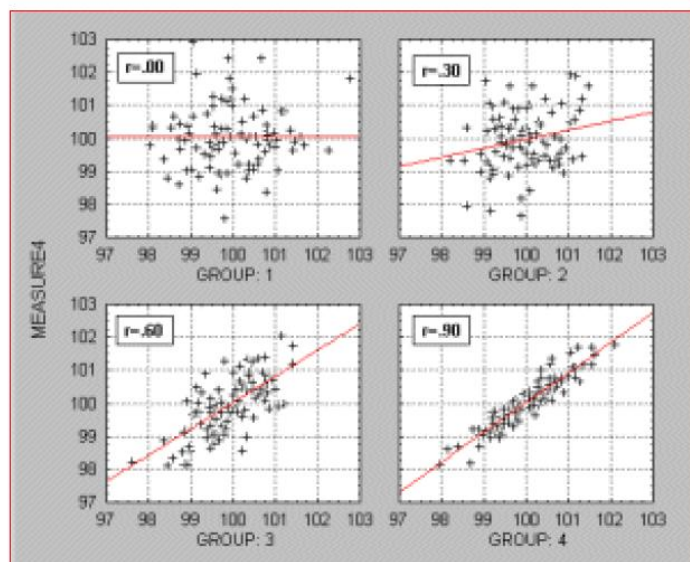
Kombinovaná nejistota

- Jaký vliv má položka na výslednou veličinu?
 - Stejný – rozlišení přístroje – citlivostní koeficient je 1
 - Jiný – mám odhad nebo měření v jiné jednotce a musím provést převod pro výsledek. Citlivostní koeficient určíme
 - Výpočtem
 - Z tabulek (citlivost TC, ...)
 - Měřením (změním hodnotu a měřím změnu jiné hodnoty)

16

Kombinovaná nejistota

- Je nějaká položka obsažená i v ostatních veličinách?



17

Kombinovaná nejistota

- Součet kvadrátů jednotlivých položek (přepočtených)
- Korekce na míru (ne)lineární závislosti
- Součet jednotlivých položek (přepočtených)

Veličina X_i	odhad x_i	nejistota $u(x_i)$	koefficient citlivosti c_i	příspěvek k nejistotě $u_i(y)$
X_1	x_1	$u(x_1)$	c_1	$u_1(y)$
:	:	:	:	:
X_N	x_N	$u(x_N)$	c_N	$u_N(y)$
Y	y			$u(y)$

18

Rozšířená nejistota

- Vyjádření míry nejistoty, které splňuje požadavek praxe na stanovení intervalu kolem výsledku měření, ve kterém lze předpokládat, že leží poměrně velký podíl rozdělení hodnot, které by mohly být odůvodnitelně připsány měřené veličině
- rozšířenou nejistotu obdržíme násobením kombinované standardní nejistoty $u_c(y)$ tzv. faktorem pokrytí k

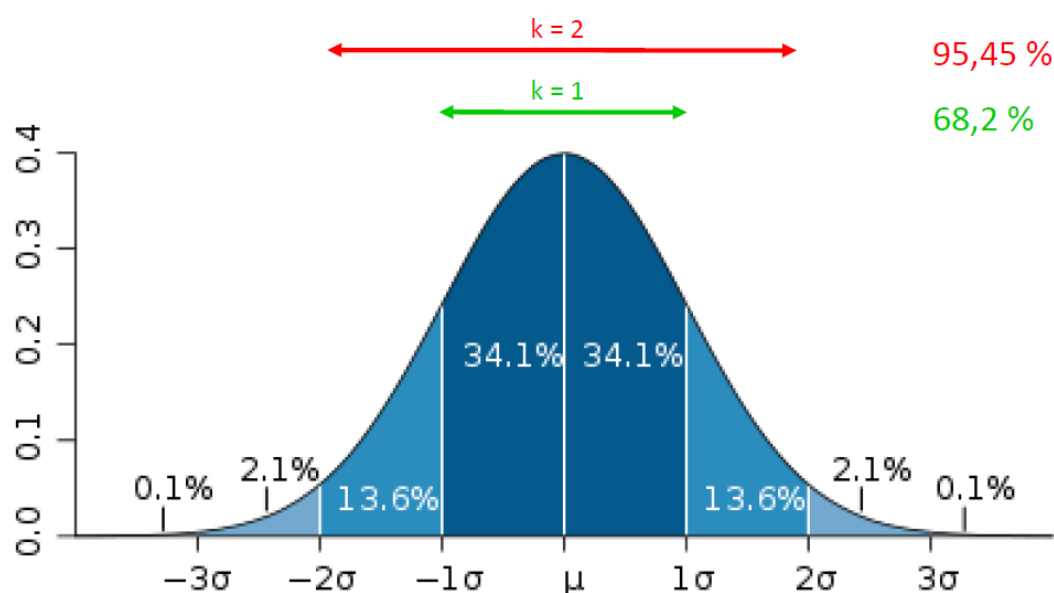
$$U = k u_c(y)$$

- výsledek měření je pak vhodným způsobem vyjádřen jako

$$Y = y \pm U$$

19

Faktor pokrytí



20

Faktor pokrytí

- Analytický výpočet – konvoluce – velmi složité
- Přibližný výpočet - založený na Centrální limitní větě
 - Z tabulek pro GUM, popř. EA
 - $k=2$
 - Welch-Satterthwaiteův vztah

Table G.1 — Value of the coverage factor k_p that produces an interval having level of confidence p assuming a normal distribution

Level of confidence p (percent)	Coverage factor k_p
68,27	1
90	1,645
95	1,960
95,45	2
99	2,576
99,73	3

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$$

Tab. E.1: Koeficient rozšíření k pro různý počet efektivních stupňů volnosti v_{eff}

v_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	
k	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,28	2,13	2,05	2,00

21

Výpočet stupňů volnosti

- U metody A – počet měřených hodnot minus 1 ($N-1$)
- U vyhodnocení metodou B
 - Hodnotě věříme nebo je určená s jistotou. Potom lze příslušný stupeň volnosti považovat za rovný ∞ a příslušný člen W.S. rovnice je roven 0;
 - jsme-li schopni stanovit pravděpodobnost, s jakou jsou stanoveny parametry apriorního rozdělení, pak lze efektivní stupeň volnosti přibližně určit z rovnice G.3 v GUM

$$v_i = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)} \right]^{-2}$$
 - Tedy jedná se vlastně o relativní nejistotu. Například, věříme-li údajům o nejistotě na 25 %, bude počet stupňů volnosti pro tuto složku roven $v_i = 1/2 (0,25)^{-2} = 8$.

22

Výpočet nejistoty

- Etalon, každé použité zařízení
 - Kalibrace
 - Drift
 - Rozlišení
 - Vlastní měření
- Kalibrovaný přístroj
 - Krátkodobý drift
 - Rozlišení
 - Opakovatelnost
 - Vlastní měření
- Prostředí
 - Homogenita
 - Radiální
 - Axiální
 - Stabilita
- Ostatní
 - Dynamika
 - Ponor
 -

23

Kombinovaná nejistota

Korekční člen vyššího řádu:

- jak již bylo zmíněno výše, zákon šíření nejistot je vlastně založen na linearizaci funkce f v blízkém okolí střední hodnoty – jde tedy o přibližnou analytickou metodu stanovení kombinované nejistoty, která samozřejmě pro lineární funkci f platí přesně
- pokud je ovšem nelinearita funkce f v okolí očekávané (střední) hodnoty Y výrazná, musí být členy vyššího řádu rozšířené Taylorovy řady zahrnuty do výrazu pro výslednou nejistotu
- je-li rozdělení každé X_i symetrické kolem její střední hodnoty, pak nejdůležitějšími členy vyššího řádu, které musíme přidat k členům rovnice, jsou:

$$\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \left[\frac{1}{2} \left[\frac{\partial^2 f}{\partial w_j \partial w_k} \right]^2 + \frac{\partial f}{\partial w_j} \frac{\partial^3 f}{\partial w_j \partial w_j \partial w_k} \right] u_j^2 u_k^2$$

24

Monte Carlo

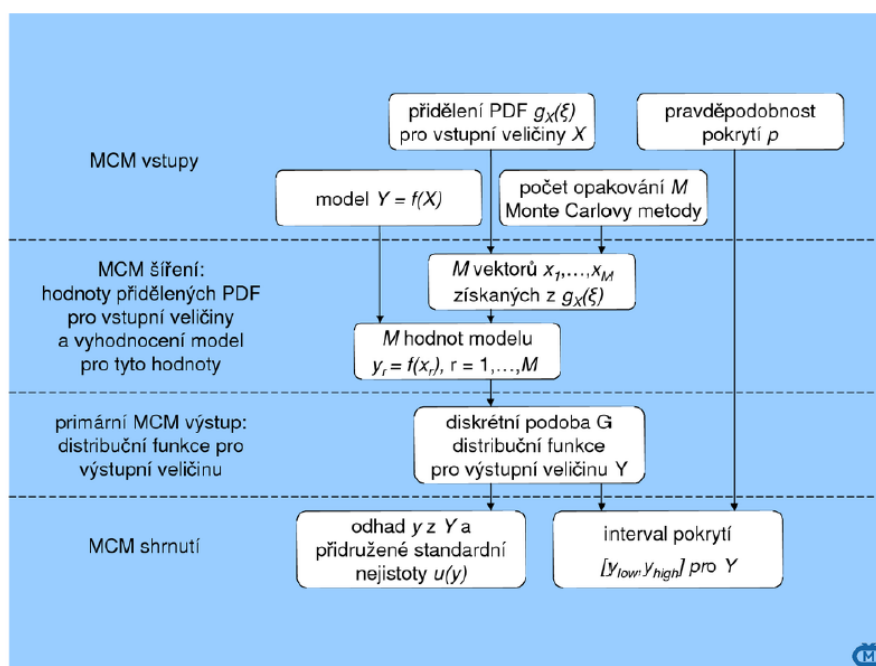
Metoda Monte Carlo

- Určení střední hodnoty veličiny, která je výsledkem náhodného děje
- Vytvoření matematického modelu děje
- Provedení dostatečného počtu simulací
- Zpracování vypočtených hodnot klasickými stochastickými metodami
- Určení střední hodnoty směrodatné odchylky



25

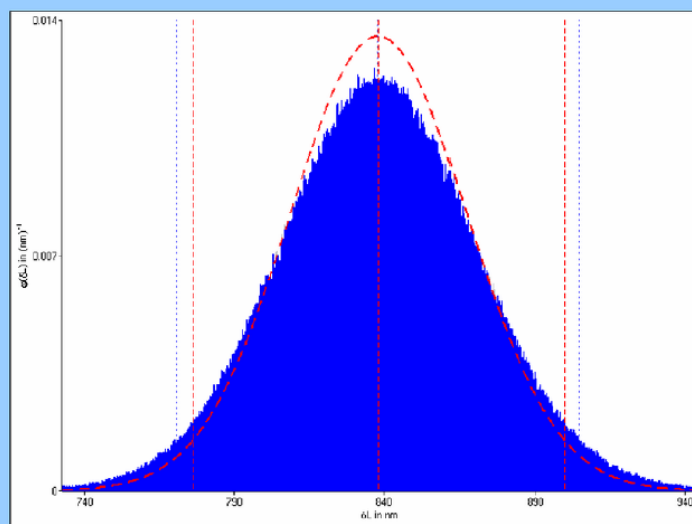
Monte Carlo



26

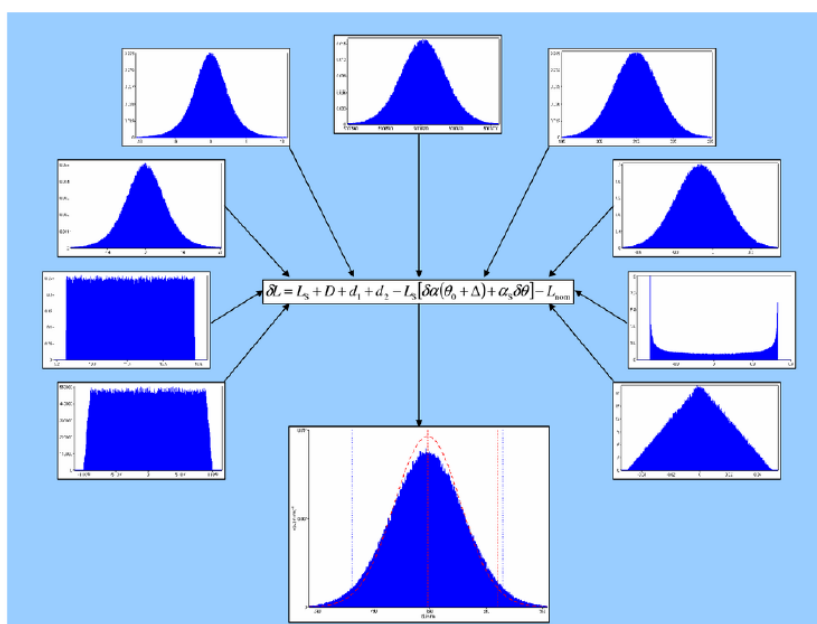
Monte Carlo

Výsledek simulace Monte Carlo



27

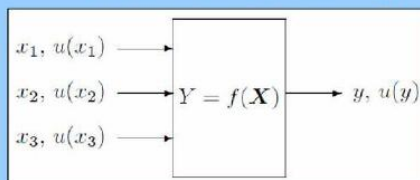
Monte Carlo



28

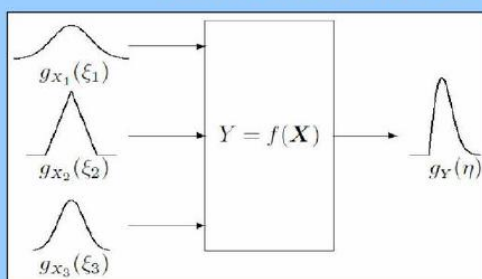
Monte Carlo

GUM uncertainty framework



$\delta L = (838 \pm 62) \text{ nm}$
 $k = 2,09$
 t-rozdělení (95,45 %)

Metoda Monte Carlo



$\delta L = (838 \pm 67) \text{ nm}$
 $k = 2,09$
 t-rozdělení (95,45 %)
 530000 opakování



29

Závěr

Výpočet nejistoty → důležitá součást každé kalibrace a měření!

- Při stanovení hodnot CMC je nutné mít na paměti, že

Když nevím, zvýším...

0,00987654321234567890987654

0,1

0,01

0,010

0,0098

0,0099

0,00988

zvýším...

zvýším...

zvýším...

zvýším...

30



Využití AI v praxi metrologa

Automatizace měřicích procesů

- Robotická metrologie: AI může řídit roboty, kteří provádějí měření na složitých dílech nebo těžko přístupných místech.
- Samooptimalizující měřicí systémy: AI může dynamicky nastavovat parametry měření, aby dosáhla optimální přesnosti.

Nejistoty měření a kalibrace

- AI může modelovat nejistoty spojené s měřicími procesy pomocí pokročilých algoritmů, jako jsou bayesovské sítě. Pomocí AI lze simulovat různé scénáře a analyzovat, jak se změny parametrů projeví na výsledcích měření.

Rozpoznávání anomálií

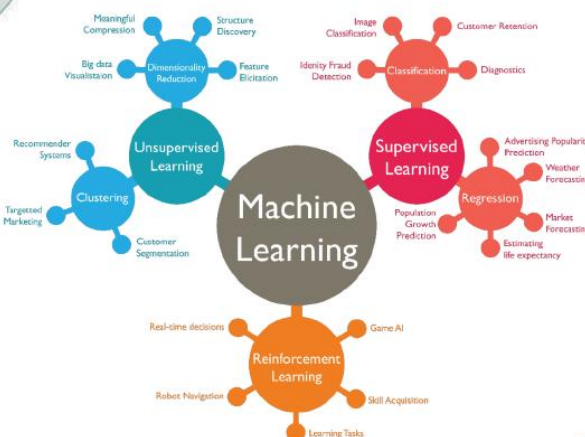
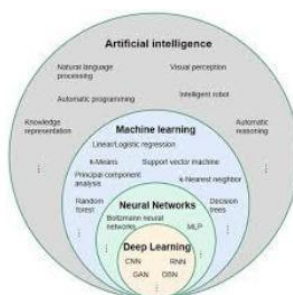
- AI dokáže identifikovat neobvyklé odchylky v datech a upozornit na potenciální chyby měřicích zařízení nebo procesů. Tato metoda je užitečná při kontrole kvality a zajištění stability měřicích systémů.

31



Oblasti umělé inteligence

- Strojové učení
- Robotika
- Neuronové sítě
- Počítačové vidění
- Bayesovské sítě
- Expertní systémy
- Dobývání dat
- Fuzzy logika
- Evoluční algoritmy
- Zpracování přirozeného jazyka
-



32

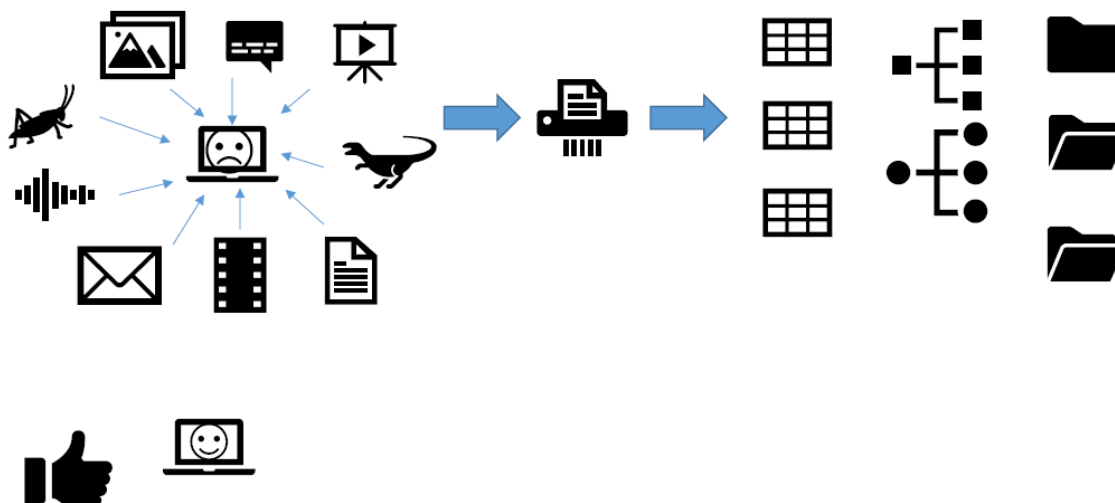


Příprava dat

získání

pročištění

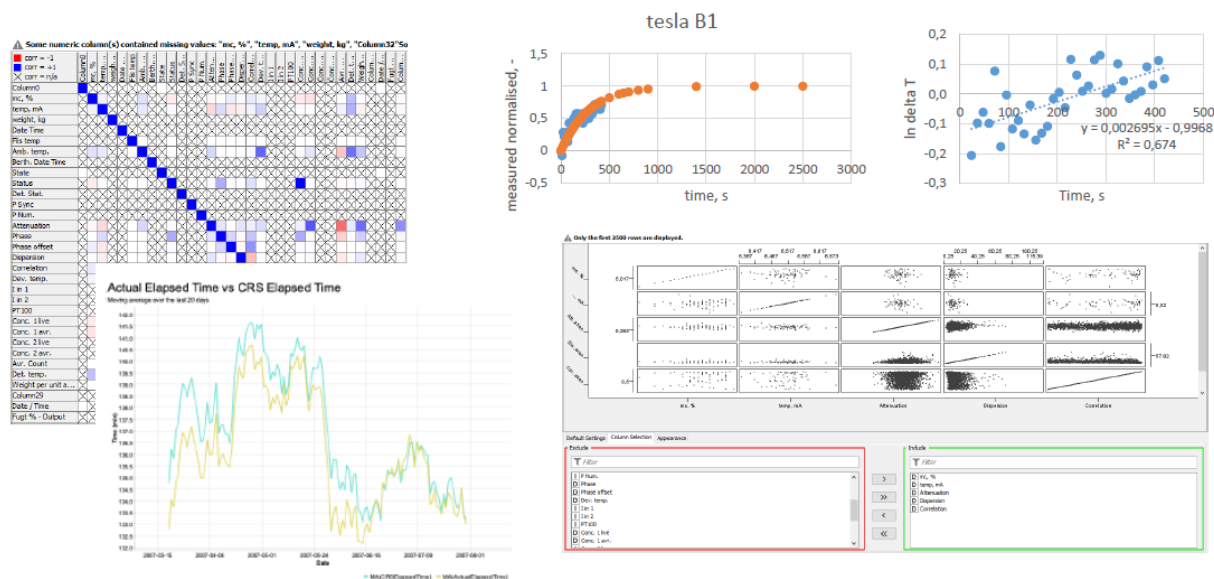
uspořádání



33



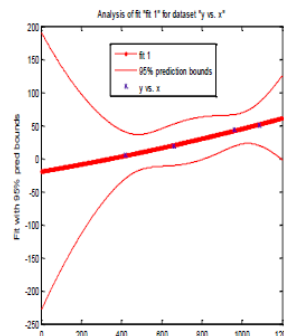
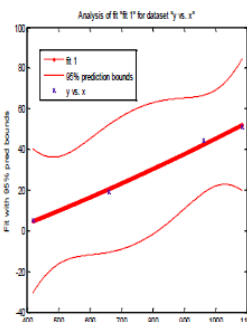
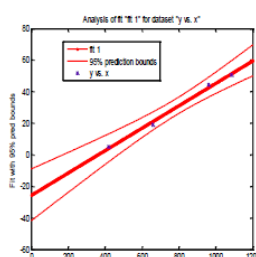
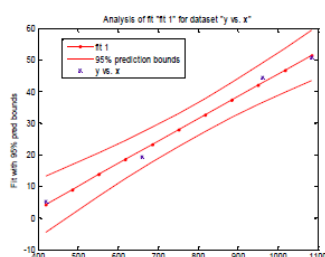
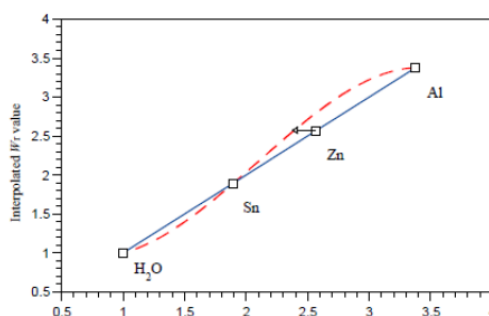
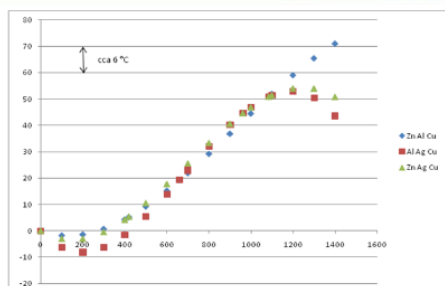
Výsledky



34



Proložení a interpolace



Jak prokážu odbornou způsobilost kalibrační laboratoře?

- úspěšná (pravidelná) účast ve zkoušení způsobilost – je-li dostupné a vhodné (MPZ, DMPZ)
 - úspěšná účast = dostatečná četnost a vyhovujícími výsledky
- pilotní laboratoř musí mít výrazně lepší nejistoty než chci mít
- v porovnání deklaruji nejistoty, které chci mít uznány jako CMC
- musím se porovnat v celém rozsahu, který realizuji
- porovnání uskutečněné primárně přes akreditovaný subjekt k tomu určený (splňující normu ČSN EN ISO/IEC 17043)



Jak pracovat s výsledkem porovnání?

Hodnocení výsledků měření podle ČSN EN ISO/IEC 17043:2010 Posuzování shody – Všeobecné požadavky na zkoušení způsobilosti

- Kritérium $E_n \leq 0,7$
 - bezproblémový výsledek
 - můžu pokračovat v práci tak jak ji dělám doteď
- $1,0 \geq \text{Kritérium } E_n \geq 0,7$
 - Jen tak tak
 - nutnost analyzovat výsledky porovnání protože potenciálně hrozí nějaké problémy
 - po odstranění nedostatku bych měl porovnání absolvovat znova
- Kritérium $E_n \geq 1,0$
 - mám problém, nevyšel jsem
 - nutnost analyzovat výsledky (měření a výpočet nejistoty) jestli jsem se nedopustil chyby, jestli uvažuji opravdu vše co mám ve správné míře
 - po odstranění nedostatku musím porovnání absolvovat znova

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



Jak pracovat s výsledkem porovnání?

Příklad vyhodnocení výsledku porovnání

- Měření od listopadu 2013 do října 2016
- 2 Pt/Pd TC pro každou smyčku

FINAL REPORT

EURAMET.T-S3

EURAMET-Project-Nº-1268

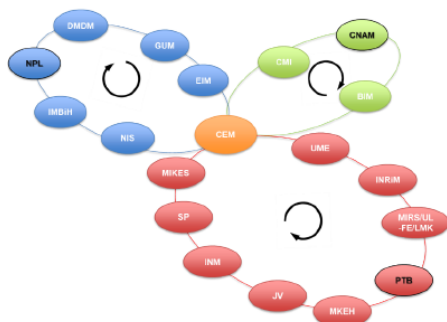
Calibration of thermocouples from 419,527°C (freezing point of Zn) up to 1492°C (melting point of the Pd-C eutectic), by the temperature fixed point and comparison methods

Prepared by

Dolores del Campo (coordinator), Carmen García Izquierdo, Maria José Martín

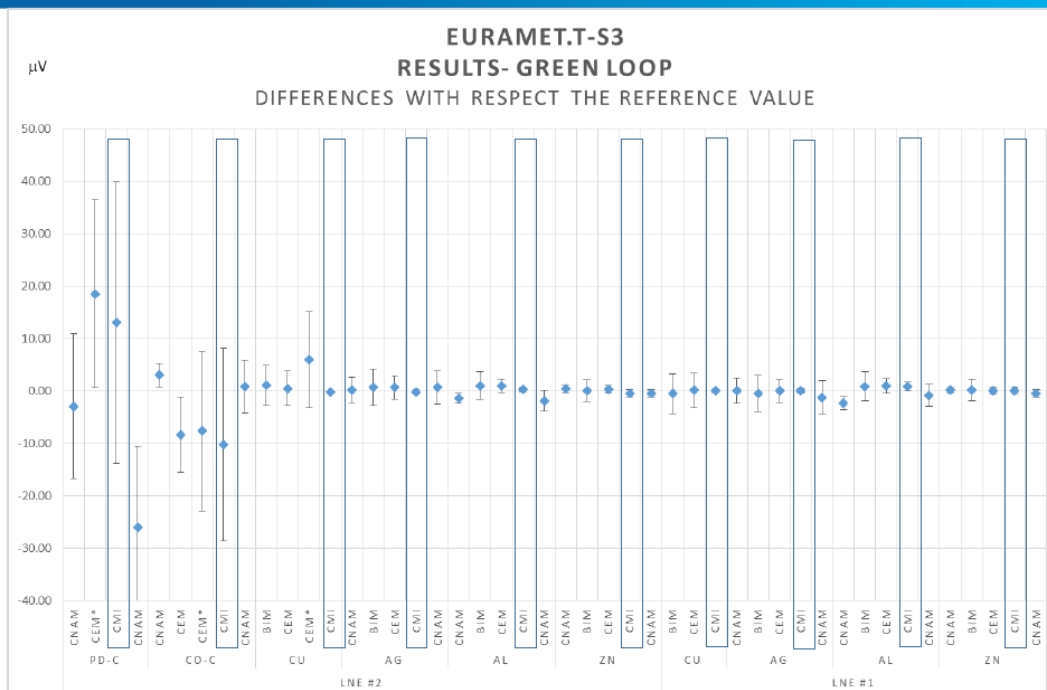
Centro Español de Metrología

Alfar 2, 28760 Tres Cantos (Spain)



January 2019

Jak pracovat s výsledkem porovnání?



39

Jak pracovat s výsledkem porovnání?

Description	LNE#2			
	Uncertainty contributions, μV (Cu FP)			
	BIM	CEM	CEM*	CMI
Determination of the calibration point temperature	0.836	1.776	6.032	0.346
Drifts of the means used to determine the calibration point	0.242	0.000	4.950	0.200
Voltmeter calibration	0.245	0.289	0.289	0.050
Voltmeter resolution	0.003	0.003	0.003	0.050
Voltmeter drift	0.167	0.002	0.002	0.058
Thermocouple homogeneity	3.620	2.854	4.850	0.700
Reference junction	0.306	0.144	0.289	0.209
Ambient parameters and connection leads	1.155			
Repeatability of measurement		0.090		
Combined standard uncertainty	3.92	3.38	9.20	0.84

40

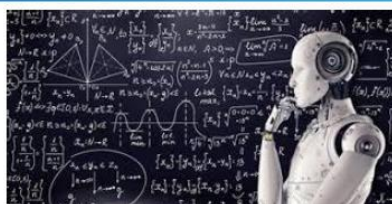
Obsah

- Stanovování nejistot v laboratořích
- Speciality
 - Chyba interpolace
 - Metoda Monte Carlo
 - Pomoc od umělé inteligence
- Potvrzení úrovně laboratoře - MPZ

41



DĚKUJI ZA POZORNOST

Okružní 31, 638 00 Brno, Czech Republic, + 420 545 555 337, www.cmi.gov.cz

Funkční zkoušky vozů

Ing. Vojtěch Čech, ŠKODA AUTO a.s.



 **ING. VOJTĚCH ČECH**

Vzdělání

-  2007-2014
České vysoké učení technické
Elektrické stroje, přístroje a pohony
-  2010-2012
Formula Student
CTU Cartech Electric

Pracovní zkušenosti

-  Od 2012 Škoda Auto a.s.
Specialista E-Car, Koordinátor funkčních zkoušek elektriky/elektroniky,
Koordinátor funkčních zkoušek E/E a Powertrain
- 2021-2022 Volkswagen AG
VW Wolfsburg GQG „Typbetreuer“ MEB vozy
- Od 2022 Škoda Auto a.s.
Koordinátor Centrum analýz – funkční zkoušky

2 26.05.2025 | Funkční zkoušky vozů | Škoda | Ing. Vojtěch Čech

SKODA

Funkční zkoušky vozů

Vývoj

→

Testování / Ověřování

→

Výroba

Co lze zkoušet?

Materiály

Díly

Funkce

Vozy

Aplikace/Infrastruktur



Kolik funkcí má vůz?

3 26.05.2025 | Funkční zkoušky vozů | Škoda | Ing. Vojtěch Čech

SKODA

Kvalita celého vozu



Zákaznická datová analytika



Materiálová laboratoř



Celý vůz - FAP, jízdní zkoušky, bezpečnost



Centrum analýz, legislativa

4 SS | 09.08. 2023 | Analysis centre QQG-3 | Daniel Pešek | QQG-3

SKODA

Centrum analýz – funkční zkoušky, legislativa



Akustika, Karoserie/Výbava, Motor, Podvozek, Elektronika



Škoda originální příslušenství / transportní ochrana



CoP (Conformity of Product) & ISC (In Service Conformity)



Datalogging

5 SS | 09.08. 2023 | Analysis centre QQG-3 | Daniel Pešek | QQG-3

SKODA

Centrum analýz – funkční zkoušky, legislativa

Funkční zkoušky elektriky/elektroniky, powertrain, datalogging

Elektrika, elektronika



SW vozů
Řídicí jednotky
Funkční zkoušky
Online funkce, Aplikace (Auto, Telefon)



Powertrain



Měření dynamických parametrů motoru
a převodovky
Měření zákaznické spotřeby
Datalogging



Podvozek



Brzdy
Geometrie
Světlomety
Nápravy, kola a pneumatiky



6 26.05.2025 | Funkční zkoušky vozů | Škoda | Ing. Vojtěch Čech

SKODA

Centrum analýz – funkční zkoušky, legislativa

Funkční zkoušky akustiky a jízdních hluků

Akustika



Měření vnitřního a vnějšího hluku
Měření akusticky relevantních dílů
Aerohluky



Jízdní hluky



Ťukání, praskání, vrzání, skřípání
Zkoušky na špatných silnicích
Zkoušky SHAKER
Zkoušky audio



7

26.05.2025 | Funkční zkoušky vozů | Škoda | Ing. Vojtěch Čech

SKODA

Centrum analýz – funkční zkoušky, legislativa

Funkční zkoušky karoserie a výbavy



Zkoušky karoserie a výbavy

Tuhost sedadel
Výkon klimatizace a topení
Licování
Komfortní a ovládací síly



Vodotěsnost



Simulace monzunů
Tlakové mytí
Metodika sériových zkoušek
Zkoušky prototypů



Příslušenství



Uvolnění dílů
Funkční zkoušky příslušenství
Zástavbové a jízdní zkoušky



8

26.05.2025 | Funkční zkoušky vozů | Škoda | Ing. Vojtěch Čech

SKODA

Centrum analýz – funkční zkoušky, legislativa

CoP a ISC zkoušky

Emise



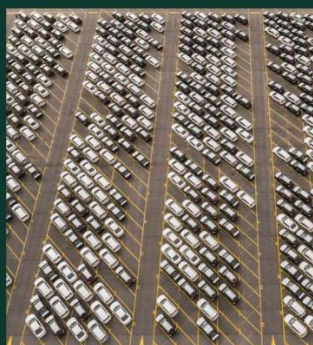
Definice plánů konformitních zkoušek
Měření sériových vozů - CoP
In service conformity



Konformita



Zkoušky komponent dle homologace
Koordinační CoP zkoušek
Návody k obsluze



9

26.05.2025 | Funkční zkoušky vozů | Škoda | Ing. Vojtěch Čech

SKODA

Centrum analýz – funkční zkoušky, legislativa

CoP a ISC zkoušky

Emise



Definice plánů konformitních zkoušek
Měření sériových vozů - CoP
In service conformity



Konformita



Zkoušky komponent die homologace
Koordinační CoP zkoušek
Návody k obsluze



9

26.05.2025 | Funkční zkoušky vozů | Škoda | Ing. Vojtěch Čech

SKODA

Centrum analýz – funkční zkoušky, legislativa

Transportní ochrana a skladování

Transportní ochrana



Vývoj, vzorkování
Uvolnění
Funkční zkoušky transportní ochrany



Cars storage



Metodické vedení skladovacích ploch



11

26.06.2025 | Funkční zkoušky vozů | Škoda | Ing. Vojtěch Čech

SKODA

Budoucnost

Autonomní vozidla, ...



Záznam dat z komunikace
vozu

10TB/Rok 2022
20TB/Rok 2023
30TB/Rok 2024
50TB/Rok 2025
2026

Funkce



Nové datové
sběrnice
Autonomní vozidla
Nové funkce

2030

Až 3EB/Rok

12

26.05.2025 | Funkční zkoušky vozů | Škoda | Ing. Vojtěch Čech

SKODA

Praktická aplikace chemometrických technik v kombinaci se spektrometrií v blízké infračervené oblasti

Ing. Eliška Vedralová, ÚCHOP, VŠCHT Praha

ÚVOD

Chemometrie představuje klíčový nástroj pro efektivní zpracování vícerozměrných analytických dat, zejména v kontextu moderních měřících technik, jako je například spektrometrie v blízké infračervené oblasti. Její využití umožňuje nejen eliminaci rušivých vlivů a redukci nadbytečných proměnných, ale především extrakci relevantních informací s vysokou výpovědní hodnotou. Vzhledem k rostoucí potřebě rychlé, spolehlivé a nedestruktivní identifikace složení komplexních materiálů, jako jsou například nelegální psychoaktivní látky, se ukazuje kombinace NIR spektroskopie s chemometrickými metodami jako velmi slibná alternativa ke konvenčním laboratorním technikám. Tento příspěvek se zaměřuje na aplikaci vybraných chemometrických přístupů při analýze NIR spekter s důrazem na tvorbu klasifikačních a kvantifikačních modelů, jejich opakovatelnost, reprodukovatelnost a přesnost.

CHEMOMETRICKÁ ANALÝZA

Chemometrie je interdisciplinární obor, který propojuje matematické modelování, vícerozměrné statistické analýzy, logiku a informační technologie s cílem efektivně zpracovávat analytická data. Jejím hlavním účelem je potlačení rušivých vlivů, zjednodušení rozsáhlých datových souborů a extrakce informací s maximální výpovědní hodnotou.

Díky tomu lze lépe porozumět sledovaným systémům, zvolit nejvhodnější analytický přístup a vytvářet klasifikační i predikční modely [1–4].

V tomto příspěvku bude chemometrika diskutována z pohledu zpracování spektrálních dat. Při aplikaci v chemii, kde se zpravidla pomocí chemometrie zpracovává signál získaný z měření velkého počtu vzorků a sledování obsahu analytu, je velkou výhodou skutečnost, že pro korekci morfologie nebo tvaru vzorku není nutná znalost konkrétní struktury analyzované látky. To výrazně rozšiřuje možnosti jejich použití, například při práci s nehomogenními nebo málo definovanými materiály [1–4].

Chemometrické postupy se obvykle rozdělují do tří základních skupin. První je předběžné zpracování dat, což zahrnuje matematické předúpravy, jejichž cílem je potlačit interferenční vlivy, jako je například šum, posun od základní linie nebo rozptyl a zvýšit čitelnost relevantních informací. Dále pak kvalitativní metody, které umožňují interpretaci spekter na základě jejich charakteristických rysů a slouží především k rozpoznání a klasifikaci

testovaných vzorků. A v neposlední řadě kvantitativní regresní metody, díky kterým je možné stanovit konkrétní koncentrace analytu na základě spektrálních charakteristik [1, 5].

Předběžné zpracování dat představuje soubor matematických operací, které se aplikují před samotnou analýzou spekter. Cílem je snížit a korigovat interferenci, odstranit irelevantní a zlepšit čitelnost relevantních informací. Tento krok je zvláště důležitý u spektrálních dat, zejména pak pro spektra získaná pomocí záření v blízké infračervené oblasti (NIR), kde často převládá vysoký šum, maxima absorpce jsou špatně definovaná a počet proměnných výrazně převyšuje počet vzorků.

Matematické předúpravy slouží k odstranění vlivů na výsledné spektrum, které nesouvisí s chemickým složením vzorku, jako je morfologie, distribuce velikosti částic, hustota či forma látky, dále pak odchylek způsobených rozptylem světla nebo rozdíly v délce optické dráhy. Tyto faktory mohou zakrýt relevantní signál a negativně ovlivnit výsledek analýzy. Cílem je tedy posílit spektrální znaky spojené se sledovaným jevem, získat tak interpretovatelné spektrum a eliminovat zmíněné odchylky způsobené multiplikativními efekty, tzv. nelinearity, zejména posuny od základní linie a rozptyl. Techniky můžeme rozdělit do dvou základních skupin, a to na derivační předúpravy, jako je Detrend, první a druhá derivace nebo derivace Savitzky-Golay (derivace SG), a korekce rozptylu, mezi něž patří multiplikativní korekce rozptylu (MSC) nebo standardní normalizace proměnných (SNV). Tyto metody lze používat samostatně i v kombinaci, přičemž vhodná volba zvyšuje robustnost a přesnost výsledného kalibračního modelu [4–6].

Detrend slouží k odstranění tzv. polynomického trendu ve spektru. Aplikuje se přímo na matici spektrálních dat, přičemž každá vlnová délka, tedy jednotlivý sloupec matice, je upravována samostatně. Pomocí polynomické regrese se od každého sloupce odečte trend individuálně, čímž se do výsledného spektra promítne závislost signálu na vlnové délce. To pomáhá odstranit systematické zakřivení vzhledem k základní linii [4, 5, 7, 8].

Derivace, zejména derivace SG, se používají ke snížení posunů a ke zlepšení rozlišení překrývajících se spektrálních pásů. Jelikož však derivace mohou zvýraznit i šum, jsou obvykle kombinovány s vyhlazovacími algoritmy. Derivace SG zahrnuje numerický výpočet derivace pomocí polynomu aplikovaného na tzv. okno, což je několik bodů kolem derivovaného bodu spektra. Typicky se volí sedmibodové okno, tedy tři body na každé straně centrálního bodu. Na toto okno se „fituje“ polynom zvoleného řádu, který pak slouží jako základ pro výpočet derivace příslušného stupně. Volba šířky okna i stupně polynomu ovlivňuje výslednou přesnost i vyhlazení spektra [1, 2, 4–6, 8, 9].

SNV je jednoduchá metoda využívaná pro korekci rozptylu. Signály odpovídající jednotlivým vlnovým délkám jsou nejprve vystředěny, tedy od každé hodnoty se odečte průměrná hodnota, a následně je vydělen vlastní směrodatnou odchylkou. Výhodou SNV je, že nevyžaduje oproti jiným metodám tohoto typu referenci. Na druhou stranu může její aplikace vést ke zkreslení, zejména v přítomnosti výrazného šumu nebo při analýze nehomogenních vzorků. Z toho důvodu bývá SNV často kombinována s dalšími předúpravami [4, 7].

Pro kvalitativní chemometrickou analýzu se často využívá multivariačních analýz. Ty umožňují současné vyhodnocení více parametrů, například u vzorků obsahujících směsi látek. Jednou z nejrozšířenějších technik je analýza hlavních komponent, anglicky „*Principal Component Analysis*“ (PCA). PCA převádí původní spektrální proměnné, u kterých je velká míra kolinearity vznikající silnou korelací absorbancí při blízkých vlnových délkách, na nové latentní proměnné, které se nazývají hlavní komponenty. Vznikají jako lineární kombinace původních proměnných a popisují variabilitu výchozího souboru. První hlavní komponenta zachycuje největší část rozptylu a každá další pak postupně vysvětluje zbylou variabilitu, která v předchozích nebyla zahrnuta. Hlavní komponenty jsou vůči sobě ortogonální a na sobě nezávislé. Dojde tak k efektivnímu snížení počtu proměnných se zachováním hlavních informací. Sledované jevy lze promítnout na jednotlivé komponenty a přiřadit jim tzv. skóre, což usnadňuje jejich klasifikaci. Je tak umožněna vizualizace a interpretace dat, sledování různých podobností mezi vzorky či konzistentnosti paralelních stanovení. PCA také tvoří základ pro další chemometrické metody využívané pro kvalitativní i kvantitativní analýzy [1–3, 3, 10–13].

Pro kvantitativní analýzu, která se využívá například pro zjištění koncentrace sledovaného analytu, se nejčastěji používají vícerozměrné regresní metody. Mezi nejrozšířenější patří především regrese hlavních komponent, anglicky „*Principal Component Regression*“ (PCR) a částečná regrese nejmenších čtverců, anglicky „*Partial Least Square Regression*“ (PLSR).

PCR je dvoustupňová metoda. Nejprve je využita PCA k transformaci původních dat a vícerozměrná lineární regrese je pak následně prováděna na hlavních komponentách, tedy proměnných na sobě nezávislých. Díky tomu je model stabilnější a má vyšší výpovědní schopnost než modely, které by byly vytvořeny z dat původních zatížených kolinearitou. Tím je umožněno přesnější modelování vztahu mezi spektrálními daty a koncentracemi analytů [2, 10, 11, 14, 15].

PLSR přímo vytváří inverzní model mezi maticí spekter a maticí cílových vlastností, například právě koncentrací sledovaných analytů. Tím je absorbance vyjádřena jako funkce sledovaného jevu, tedy koncentrace. Obecně je možné říci, že jde o nástroj pro vyhodnocování dvojice vícerozměrných proměnných, mezi nimiž se předpokládá možná lineární závislost a umožňuje vysvětlovat a predikovat jednu skupinu proměnných pomocí jiné. Původní proměnné jsou v tomto

případě nahrazeny tzv. faktory PLS, tedy latentními proměnnými, které zachycují maximální kovarianci mezi maticemi. První faktor zachycuje největší možnou variabilitu, která má zároveň nejvyšší korelaci s predikovanou vlastností, což je hlavní rozdíl oproti PCR. Výsledkem je model, který umožňuje predikovat hodnoty jedné skupiny proměnných pomocí jiné, s vysokou přesností a robustností i při práci s komplexními spektry [2, 3, 12, 16].

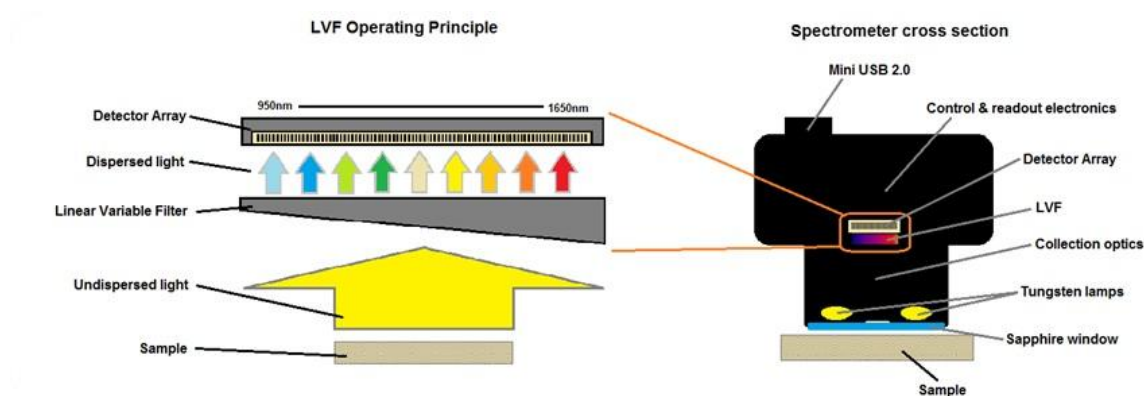
APLIKACE NA SPEKTROSKOPICKÉ TECHNIKY

Infračervená spektroskopie je rychlá a univerzální analytická technika vhodná pro kvalitativní i kvantitativní analýzu kapalných, plyných i pevných vzorků. Je založena na absorpci infračerveného (IČ) záření molekulami, které při interakci mění své rotačně-vibrační stavy. Podmínkou této absorpce je nenulový dipólový moment. Záření, které je absorbováno, má určitou energii a ta odpovídá vibračním specifickým vazeb v molekule, což umožňuje identifikaci její struktury. IČ záření odpovídá rozsahu vlnových délek 0,78–1000 μm , resp. vlnočtu 12500–5 cm^{-1} , přičemž se dělí na NIR, střední (MIR) a vzdálené (FIR). Získaný signál odpovídá různým typům přechodů, a to základním neboli fundamentálním, horkým, vyšším harmonickým přechodům, tzv. overtonům a přechodům kombinačním. Metody IČ spektroskopie, včetně Ramanovy, MIR a NIR, jsou atraktivní zejména díky své rychlosti, nedestruktivnosti a minimální nutnosti úpravy vzorku, což je činí vhodnými i pro analýzy v terénu, na rozdíl od složitějších laboratorních technik, jako jsou například plynová chromatografie (GC), kapalinová chromatografie (LC) nebo kapilární elektroforéza (CE) [10, 17–19].

NIR spektroskopie odpovídá rozsahu vlnových délek 800–2500 nm, resp. vlnočtů 12 500–4000 cm^{-1} a nachází se mezi MIR a viditelným zářením. Spektrometry pro ni používané jsou buď disperzní spektrometry (DR-NIR) v reflexním režimu nebo spektrometry s Fourierovou transformací využívající Michelsonův interferometr (FT-NIR) v režimu transmisním. Zdrojem záření jsou wolframové žárovky pokrývající i viditelnou oblast, optickým materiálem může být například křemenné či safírové sklo a detektory obecně pracují na principu fotoelektrického jevu. Zařízení jsou zpravidla přenosná s velmi jednoduchou instrumentací a umožňují tak terénní stanovení [4, 10, 14, 17, 18, 20].

Níže jsou uvedeny specifikace NIR spektrometru MicroNIR OnSite-W od firmy VIVA! Solutions Inc., což je terénní přenosný spektrometr, který je využívám v rámci projektu tvorby chemometrických modelů. Využívá technologii lineárního variabilního filtru (LVF), která neobsahuje žádná optická vlákna a funguje pouze na principu nepohyblivého filtru umístěného přímo na detektoru. Je vybaven bluetooth připojením a nabíjecí baterií. Samotné měření je zahájeno pouhým stisknutím tlačítka a trvá v řádu jednotek sekund. Zařízení může být buď připojeno pomocí USB k počítači s programem Viavi MicroNIR, kde jsou zobrazována naměřená

spektra, nebo přes Bluetooth ke kompatibilní aplikaci NIRLab od vývojáře NIRLAB Forensics Sarl, která detekuje, jaký typ vzorku je měřen i s příslušným obsahem detekované látky. Může být využit pro měření širokého okruhu látek v téměř každém skupenství [21]. Schéma MicroNIR spektrometru je na **Obrázku 1**.



Obrázek 1: Schéma spektrometru MicroNIR VIAVI solutions Inc.[21]

Parametry přístroje:

- Rozsah vlnových délek: 950–1650 nm
- Spektrální rozlišení: méně než 1,25 % střední vlnové délky
- Rozměry: průměr 47 mm, délka 194 mm
- Hmotnost: méně než 250 g
- Snímatelná měřicí objímka se safírovým okénkem z jedné strany potaženým antireflexním prvem.
- Zdroj záření: dvě vakuové wolframové lampy
- Dispergační element: lineární variabilní filtr (LVF)
- Detektor: detektor s fotodiodovým polem 128 pixelů InGaAs [20]

Spektrální informace získané NIR spektroskopií odpovídají overtonům a kombinačním přechodům. Tyto přechody mají až o dva řády nižší četnost, a proto jsou NIR spektra charakteristická nižší intenzitou píků a vysokým šumem. Zároveň obsahují informace nejen o chemických, ale i fyzikálních vlastnostech vzorku, jako je struktura, barva nebo velikost částic. Signál je tedy složen ze tří hlavních složek, a to nespecifického rozptylu záření na povrchu částic, různých optických drah záření a stěžejní chemické informace, přičemž příspěvek rozptylu způsobeného velikostí částic zpravidla dominuje nad rozptylem vyvolaným chemickým složením. Tato kombinace faktorů vede ke vzniku multiplikativních efektů a značné kolinearity v datech, což znesnadňuje jejich přímou interpretaci.

Tato technika má však i řadu výhod, například díky nízké absorpci záření proniká NIR hlouběji do vzorku než MIR, což umožňuje analýzu složitých a nehomogenních matric bez nutnosti předúpravy. Technika je vhodná i pro vzorky s vysokou koncentrací analytu a umožňuje měření skrz obaly [2–4, 7, 11].

Právě chemometrie je vhodný nástroj k tomu, jak efektivně skloubit jednoduchou terénní instrumentaci a rychlou univerzální analýzu, kterou nám poskytuje NIR spektrometrie, s relevantními a vypovídajícími výsledky analýzy. Správná aplikace chemometrických technik umožňuje potlačení rušivých vlivů, redukci množství proměnných, zvýšení čitelnosti dat a extrakci relevantních informací, což vede k tvorbě klasifikačních a predikčních modelů s přesností srovnatelnou s referenčními validovanými laboratorními metodami.

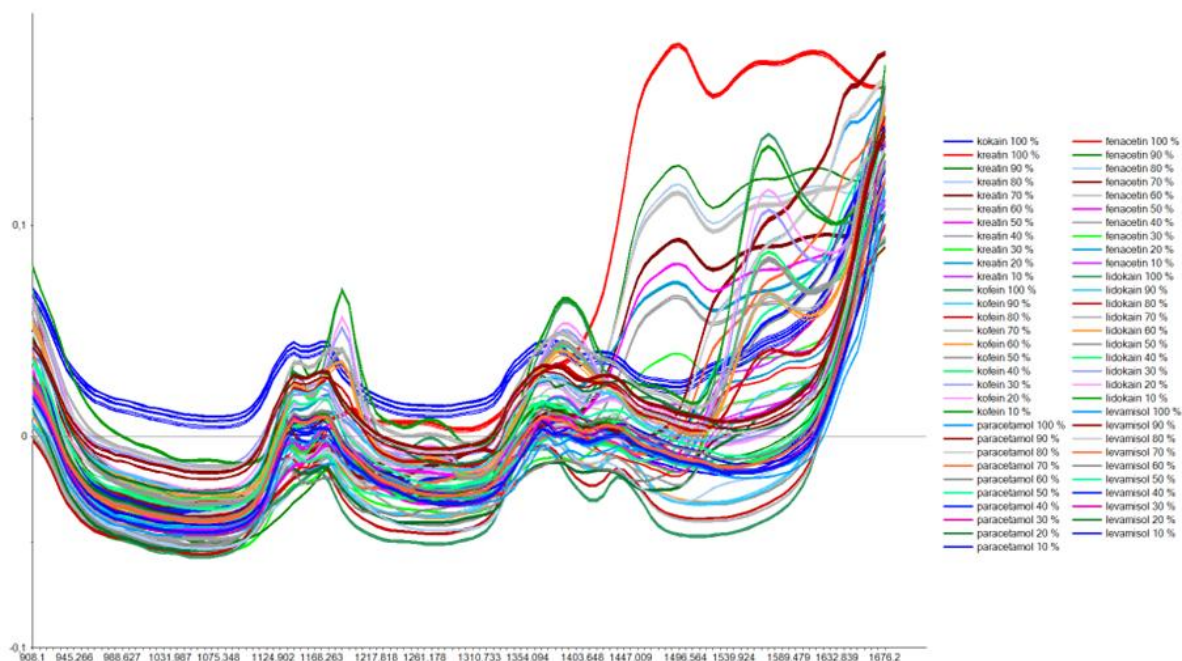
Ideálně se dá demonstrovat důležitost a vhodnost této kombinace při aplikaci na analýzu nelegálních psychoaktivních látek. V současné době jsou jako celosvětový standard pro analýzu zadržovaných vzorků považovány chromatografické laboratorní techniky typu GC či LC. Ty však vyžadují drahou a nepřenositelnou instrumentaci, předúpravu analytů a jsou zpravidla destruktivní a časově náročné. To značně komplikuje a prodlužuje práci složek integrovaného záchranného systému a orgánů veřejné správy v odhalování nelegálních činností. Z těchto důvodů roste poptávka kriminalistických a forenzních institucí po rychlé, spolehlivé a nedestruktivní metodě identifikace složení zabavených drog. Proto jsou techniky založené na NIR spektrometrii v kombinaci s chemometrií možnou alternativou, jelikož analýza je nedestruktivní, provedena v řádu několika sekund a poskytuje možnost stanovení v terénu. NIR nalézá široké uplatnění také ve farmacii, petrochemii a potravinářství, zejména v rámci on-line kontroly kvality [11].

TVORBA PREDIKČNÍCH MODELŮ, OPAKOVATELNOST, REPRODUKOVATELNOST, PŘESNOST

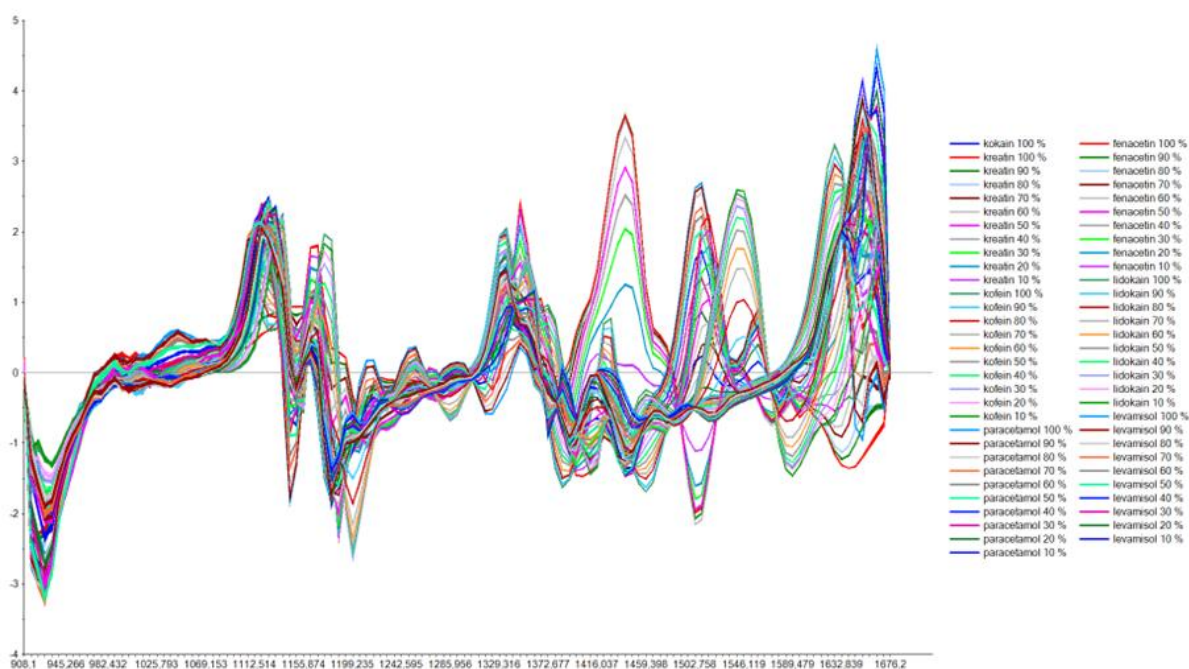
Právě na modelech, které se využívají jak pro kvalitativní identifikaci, tak pro kvantifikaci psychoaktivních látek, bude v rámci tohoto příspěvku demonstrována využitelnost kombinace chemometrických technik a NIR spektrometrie. Jako příklad jsou uvedeny kvalitativní model pro rozpoznávání koncentrace kokainu s jeho šesti nečastějšími ředícími látkami, tzv. adulteranty – kreatin, kofein, lidokain, levamisol, paracetamol a fenacetin, a kvantitativní model pro detekci koncentrace kokainu adulterovaného levamisolem.

Pro tvorbu kvalitativního modelu byly vytvořeny kalibrační řady s každým adulterantem, vždy po 10% hmotnostních přídavicích kokainu. Následně byla proměřena NIR spektra vždy v 10 paralelních měřeních. Tyto kalibrační řady byly později proměřeny znovu stejným způsobem, čímž byla získána dvě na sobě nezávislá měření. Díky tomu mohou být tyto matice obsahující spektrální informace navzájem využity jako kalibrační a validační. Na matice byly postupně aplikovány matematické předúpravy Detrend, derivace SG a SNV. Následně byla provedena

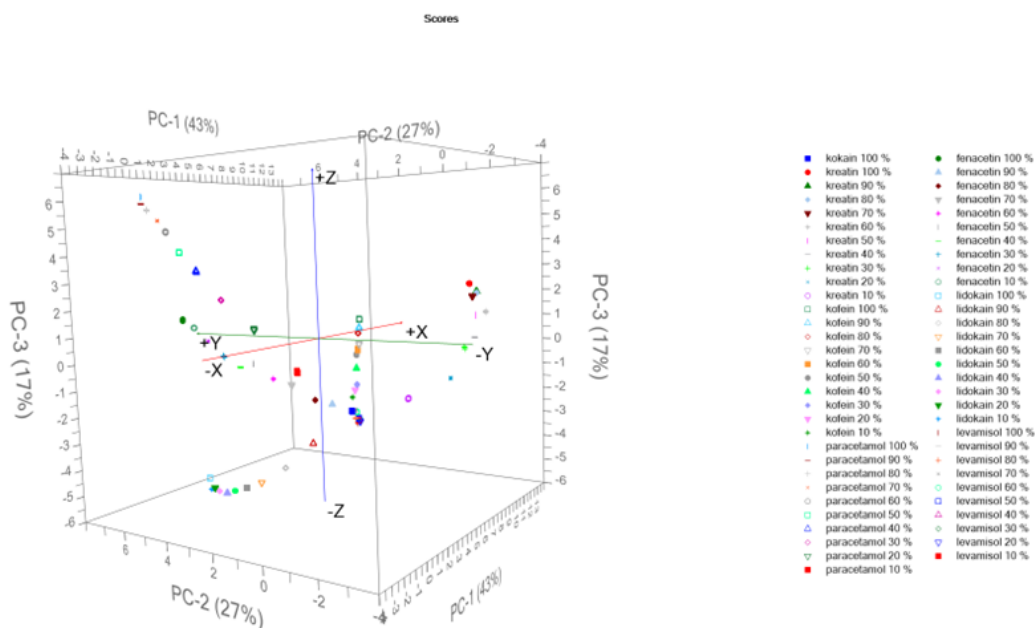
PCA. Na **Obrázku 2** a **Obrázku 3** lze vidět, jak se spektra proměnila po aplikaci matematických předúprav. **Obrázek 4** a **Obrázek 5** pak zobrazuje výsledný 3D skórový diagram z různých úhlů pro kvalitativní odlišení obsahu analytu, tedy kokainu, za přítomnosti různých adulterantů. Je zjevné, že předúpravy sjednotily jednotlivá paralelní měření a zároveň je model s vysokou přesností schopen odlišit, co daný vzorek obsahuje, a to i v případě, že jsou spektra adulterantu velmi podobná spektru kokainu, jako je tomu například u levamisolu, což znázorňuje ne tak výrazné rozprostření bodů, které odpovídají jednotlivým přídávkům, v prostoru.



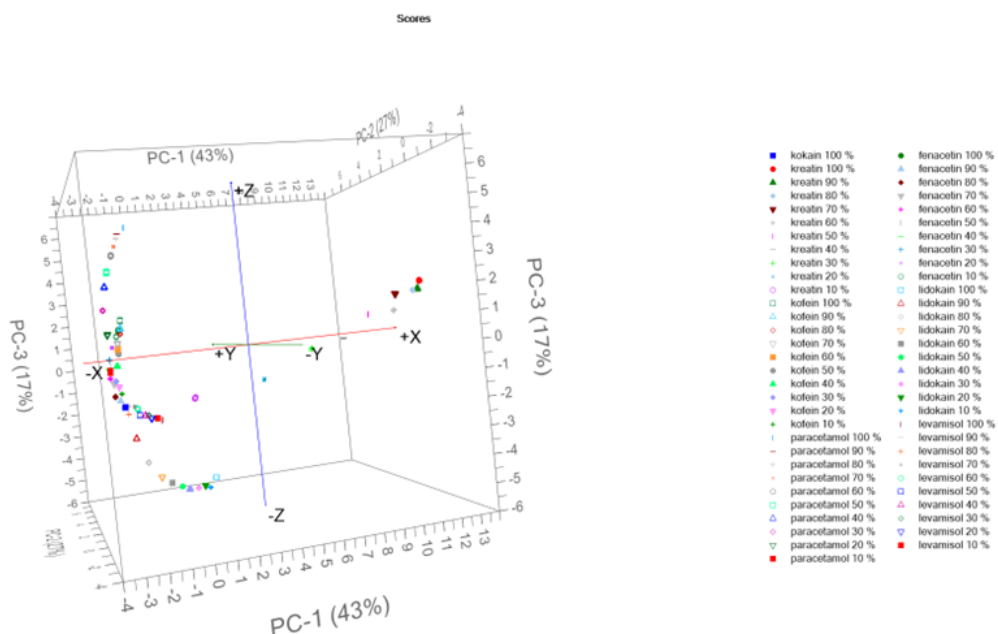
Obrázek 2: Surová NIR spektra kokainu adulterovaného různými látkami



Obrázek 3: Upravená NIR spektra kokainu adulterovaného různými látkami pomocí matematických předúprav

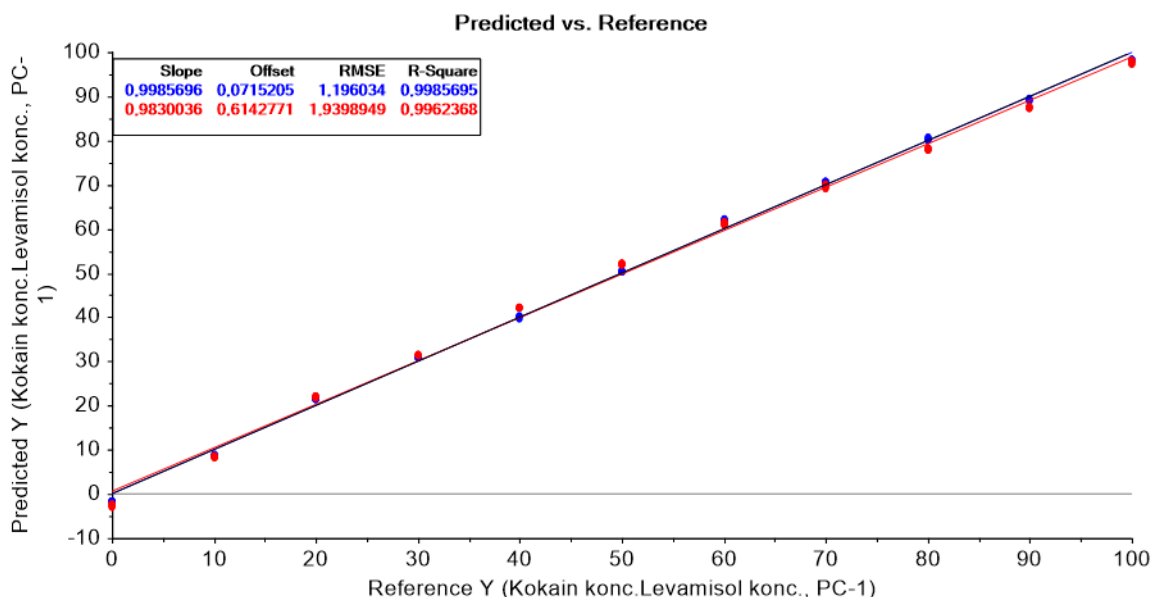


Obrázek 4: 3D skórový diagram pro kvalitativní model kokainu a jeho adulteranty 1



Obrázek 5: 3D skórový diagram pro kvalitativní model kokainu a jeho adulteranty 2

Dále byly pomocí PCR pro každý adulterant zvlášť vytvořeny kvantitativní modely k určení koncentrace kokainu v neznámém vzorku. Na **Obrázku 6** lze vidět grafické znázornění PCR pro levamisol, který je, jak bylo avizováno výše, jeden z nejproblematictějších adulterantů, co se týče rozpoznávání, jelikož vykazuje vysokou podobnost spektrálních informací.



Obrázek 6: Kalibrační závislost pro kvantitativní model kokainu adulterovaného levamisolem

Lze vidět, že kalibrační a validační měření se pro kvantifikaci kokainu téměř shodují. Také parametry, jako R-kvadrát či RMSE, vykazují velmi dobrou výpovědní hodnotu modelu.

Tyto modely se dají následně využít pro kvalifikaci a kvantifikaci neznámých pouličních vzorků. Pro jejich validaci bylo Kriminalistickým ústavem ČR poskytnuto 17 zadržených pouličních vzorků s neznámým obsahem kokainu a s neznámým adulterantem. Ty byly pomocí NIR spektrometru proměřeny v 10 paralelních stanoveních. Díky kvalitativního modelu bylo na základě spektrální podobnosti určeno, že se jedná o vzorky adulterované levamisolem a kvantitativní model byl následně využit k zjištění přesné koncentrace, která byla porovnána s koncentrací zjištěnou pomocí referenční laboratorní techniky, konkrétně vysokoúčinné kapalinové chromatografie (HPLC).

Jak již bylo uvedeno výše, kalibrace byly proměřeny dvěma operátory v jiný čas, je tedy možné statisticky zhodnotit opakovatelnost a reprodukovatelnost této metody. Pro tento účel byly vytvořeny 2 kvantifikační modely k určení koncentrace kokainu adulterovaného levamisolem, vždy s využitím pouze jedné předupravené matice spektrálních dat a s aplikací křížové validace pro každou matici zvlášť. Pomocí těchto modelů byla následně provedena predikce koncentrace kokainu pro 17 neznámých vzorků. Výsledné průměrné koncentrace zobrazuje **Tabulka 1**.

Tabulka 1: Průměrné koncentrace kokainu v pouličních vzorcích detekované pomocí NIR spektrometrie

Operátor 1		Operátor 2	
VZOREK	koncentrace [%]	VZOREK	koncentrace [%]
vzorek 1	91,482	vzorek 1	91,010
vzorek 2	93,487	vzorek 2	92,774
vzorek 12	71,003	vzorek 12	70,018
vzorek 20	70,053	vzorek 20	69,195
vzorek 21	76,107	vzorek 21	75,082
vzorek 22	72,945	vzorek 22	71,936
vzorek 25	71,106	vzorek 25	70,387
vzorek 36	55,203	vzorek 36	54,569
vzorek 38	74,553	vzorek 38	73,664
vzorek 78	74,320	vzorek 78	73,377
vzorek 80	77,313	vzorek 80	76,404
vzorek 83	69,513	vzorek 83	68,761
vzorek 86	75,005	vzorek 86	74,082
vzorek 91	73,456	vzorek 91	72,592
vzorek 92	73,442	vzorek 92	72,565
vzorek 94	73,441	vzorek 94	72,447
vzorek 95	76,045	vzorek 95	75,034

Na tyto výsledky byla aplikována analýza opakovatelnosti (anglicky „*repeatability*“) a reprodukovatelnosti (anglicky „*reproducibility*“) měřidla, tzv. crossed Gage R&R analýza. Jelikož oba operátoři měřili každý vzorek a ve stejném počtu opakování, je možné celkovou variabilitu rozdělit na opakovatelnost odpovídající vlivu zařízení, a tedy rozdílům v paralelních stanoveních, reprodukovatelnost odpovídající rozdílům mezi operátory, kombinovanou Gage R&R variabilitu měřidla a variabilitu mezi vzorky (anglicky „*part-to-part*“).

Byly aplikovány dvě statistické metody, a to metoda průměru a rozptylu, anglicky „*Average & Range*“ a dvoufaktorová analýza rozptylu, anglicky „*Analysis of Variance*“ (ANOVA).

Výsledky Average & Range metody jsou uvedeny v **Tabulce 2**, která zobrazuje pomocí standardní směrodatné odchylky σ jednotlivé podíly na celkové variabilitě.

Tabulka 2: Výsledky Average & Range analýzy

ZDROJ VARIABILITY	σ [-]	aproximovaný podíl z celkové σ [%]
Opakovatelnost	0,27	2,53
Reprodukovatelnost	0,76	7,12
Gage R&R kombinovaná	0,81	7,58
Part-to-part variabilita	10,65	99,72
CELKOVÁ VARIABILITA	10,68	100,00

Více než 99% příspěvek pochází z variability mezi vzorky, což je žádoucí a ukazuje to, že téměř veškerá variabilita je způsobena rozdílnými koncentracemi vzorku, nikoli rušivými vlivy. Gage R&R je nižší než 10 % z celkové variability. Z podílů k celkové variabilitě pro opakovatelnost a reprodukovatelnost lze usoudit, že výraznější vliv na analýzu má rozdíl mezi operátory.

Pro dvoufaktorovou ANOVU byly jako faktory využity koncentrace vzorků a operátor. Výsledky jsou uvedeny v **Tabulce 3**. Krom σ je uveden také rozptyl σ^2 .

Tabulka 3: Výsledky ANOVA

ZDROJ VARIABILITY	σ^2 [-]	σ [-]	aproximovaný podíl z celkové σ [%]
Opakovatelnost	0,071	0,267	3,192
Reprodukovatelnost	0,366	0,605	7,236
Gage R&R kombinovaná	0,438	0,662	7,909
part-to-part variabilita	69,532	8,339	99,687
CELKOVÁ VARIABILITA	69,970	8,365	100,000

Stejně jako u první metody je naprostá většina variability způsobena rozdíly mezi vzorky a kombinovaná Gage R&R přispívá méně než 10 %. Dále je také potvrzen závěr Average & Range analýzy, a to, že největší vliv na chybu měření má operátor. Interakce operátor a koncentrace vzorků odpovídá $\sigma^2 = 0,0046$, $\sigma = 0,068$, statisticky je tedy nevýznamná a z tohoto důvodu není zahrnuta ve výsledné tabulce. Vypovídá o konzistentnosti operátora.

Obě metody analýzy tedy potvrzují velmi dobrou opakovatelnost a reprodukovatelnost modelů pro detekci koncentrace analytu vytvořených kombinací NIR spekter a chemometrických technik. Variabilita je téměř výhradně způsobena rozdíly mezi vzorky, což je žádoucí. Co se týče chyby měřidla, zde má největší vliv reprodukovatelnost, která se na celkové chybě podílí přibližně 84 %. To je pravděpodobně způsobeno nejen jiným operátorem, ale také

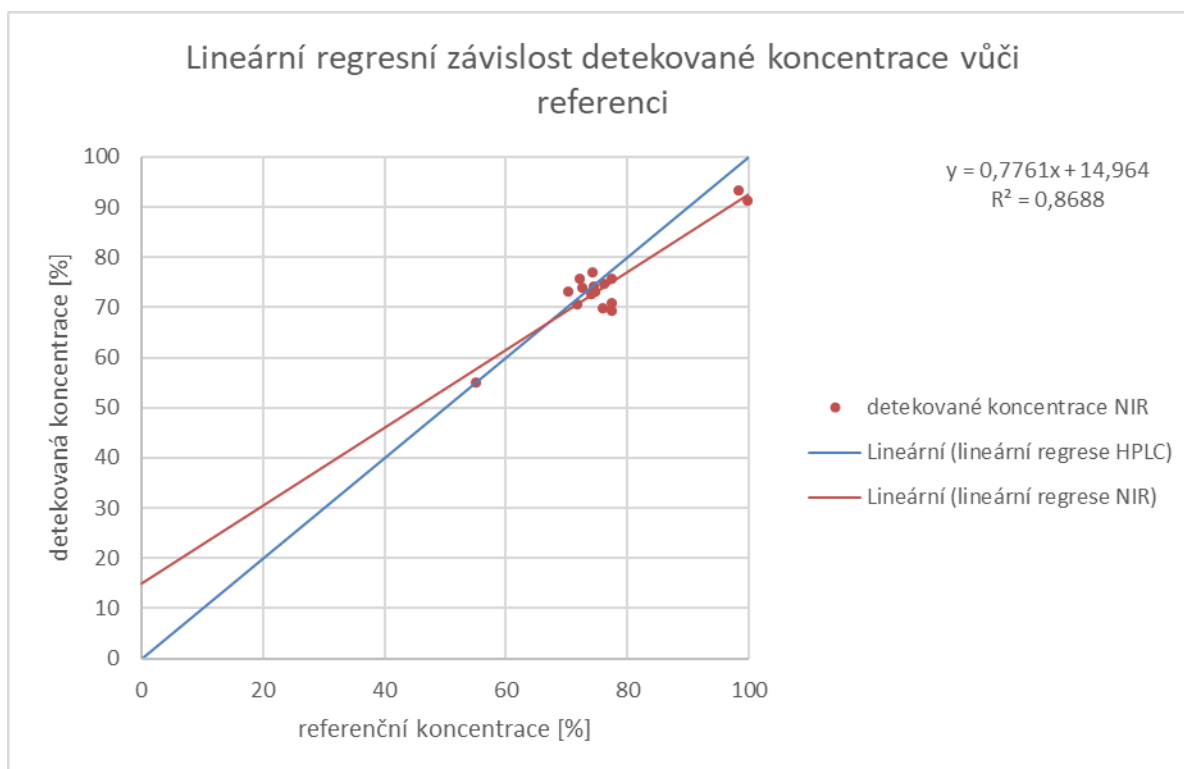
rozdílnými podmínkami při měření, jelikož se jedná o terénní stanovení. Podíl opakovatelnosti je velmi malý, což vypovídá o vysoké přesnosti spektrometru. Kombinovaná chyba měření je pod 10% hranicí celkové variability, která značí vynikající schopnost metody.

Zároveň byla testována přesnost ověřované metody, tedy jak moc odpovídají koncentrace kokainu ve vzorcích detekované pomocí vytvořených modelů koncentracím zjištěným pomocí HPLC, které jsou zde brány jako reference. Průměrné koncentrace změřené oběma operátory a koncentrace detekované referenční technikou jsou uvedeny v **Tabulce 4**.

Tabulka 4: Koncentrace kokainu v pouličních vzorcích detekované referenční a ověřovanou metodou

VZOREK	HPLC	NIR
	koncentrace [%]	koncentrace [%]
vzorek 1	99,907	91,246
vzorek 2	98,391	93,130
vzorek 12	71,705	70,510
vzorek 20	76,040	69,624
vzorek 21	77,381	75,595
vzorek 22	74,105	72,440
vzorek 25	77,480	70,747
vzorek 36	55,061	54,886
vzorek 38	74,624	74,109
vzorek 78	72,726	73,848
vzorek 80	74,229	76,858
vzorek 83	77,487	69,137
vzorek 86	76,227	74,543
vzorek 91	70,274	73,024
vzorek 92	74,702	73,004
vzorek 94	74,766	73,024
vzorek 95	72,140	73,004

Pro zhodnocení byla použita lineární regrese, průměrný rozdíl (BIAS), střední kvadratická chyba, anglicky „*Root-mean-square error*“ (RMSE), průměrná absolutní chyba, anglicky „*mean absolute error*“ (MAE) a Pearsonův korelační koeficient r . Lineární regrese je graficky znázorněna na **Obrázku 7**, výše zmíněné statistické ukazatele přesnosti jsou uvedeny v **Tabulce 5**.



Obrázek 7: Lineární regresní závislost detekované koncentrace kokainu pomocí ověřované metody v pouličních vzorcích vůči referenci

Tabulka 5: Statistické ukazatele přesnosti ověřované metody vůči referenci

BIAS [%]	-2,859
RMSE [%]	4,221
MAE [%]	3,286
r [-]	0,932

Hodnota korelačního koeficientu ukazuje velmi dobrou shodu trendů, ale z výsledků je zřejmé, že modely systematicky mírně podhodnocují. Záporný BIAS vyjádřený v procentech říká, že vytvořené modely v průměru naměří koncentraci nižší o 2,4procentního bodu než referenční laboratorní technika. Směrnice regresní přímky, která odpovídá 0,7761, ukazuje proporcionální odchylku. Vzorky o vyšší koncentraci sledovaného analytu byly výrazněji podhodnocované než vzorky s nižší koncentrací, které vykazují mnohem lepší shodu. Zároveň obě chybové funkce nepřekročily hranici 5 %. Celkově lze říci, že metoda NIR vykazuje vysokou korelaci s HPLC, ale trpí systematickou chybou a částečně i proporční odchylkou.

ZÁVĚR

Výsledky prezentované v tomto příspěvku potvrzují, že kombinace chemometrických metod a NIR spektroskopie je účinným nástrojem pro kvalitativní i kvantitativní analýzu složitých vzorků, zejména co se týče terénního stanovení. Vyvinuté modely vykazují vysokou opakovatelnost a reprodukovatelnost, přičemž většina variability v datech je způsobena rozdíly mezi samotnými vzorky, nikoli rušivými vlivy. Tato analytická technika umožňuje během několika sekund a bez nutnosti úpravy vzorku poměrně přesně stanovit koncentraci sledovaného analytu, ačkoliv je v současnosti stále nutná následná verifikace výsledků pomocí referenčních laboratorních metod. I přes drobnou systematickou a proporcionální odchylku oproti těmto metodám poskytují modely dostatečně přesné a časově efektivní výsledky, které potvrzují jejich praktickou využitelnost. Modely určené k detekci psychoaktivních látek jsou již nyní využívány Celní správou a v současnosti probíhá jednání o jejich nasazení také v rámci složek integrovaného záchranného systému. Další rozvoj a optimalizace tohoto přístupu proto představuje smysluplný krok s vysokým aplikačním potenciálem. Chemometrie tak významně rozšiřuje možnosti využití NIR spektroskopie, zejména v situacích, kde je klíčová rychlost, jednoduchost a nedestruktivní charakter analýzy.

PODĚKOVÁNÍ

Tato studie byla financována Ministerstvem vnitra ČR (Terénní kvantifikace OPL pomocí NIR spektrometrie, VK01010137).

Tento výstup vznikl v rámci projektu Specifického vysokoškolského výzkumu – projekt č. A2_FTOP_2025_017 (Tvorba a aplikace kvalitativních a kvantitativních modelů pro analýzu MDMA pomocí chemometrie s využitím mobilní NIR spektrometrie).

ZDROJE

- [1] XIAO, Ran, Li LIU, Dongjie ZHANG, Ying MA a Michael O. NGADI. Discrimination of organic and conventional rice by chemometric analysis of NIR spectra: a pilot study. *Journal of Food Measurement and Characterization* [online]. 2019, **13**(1), 238–249. ISSN 2193-4134. Dostupné z: doi:10.1007/s11694-018-9937-7
- [2] REICH, Gabriele. Near-infrared spectroscopy and imaging: Basic principles and pharmaceutical applications. *Advanced Drug Delivery Reviews* [online]. 2005, **57**(8), Non-Invasive Spectroscopic and Imaging Techniques in Drug Delivery, 1109–1143. ISSN 0169-409X. Dostupné z: doi:10.1016/j.addr.2005.01.020
- [3] LUYPART, J., D. L. MASSART a Y. VANDER HEYDEN. Near-infrared spectroscopy applications in pharmaceutical analysis. *Talanta* [online]. 2007, **72**(3), 865–883. ISSN 0039-9140. Dostupné z: doi:10.1016/j.talanta.2006.12.023

-
- [4] ESQUERRE, C., A. A. GOWEN, J. BURGER, G. DOWNEY a C. P. O'DONNELL. Suppressing sample morphology effects in near infrared spectral imaging using chemometric data pre-treatments. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* [online]. 2012, **117**, Special Issue Section: Selected Papers from the 1st African-European Conference on Chemometrics, Rabat, Morocco, September 2010 Special Issue Section: Preprocessing methods Special Issue Section: Spectroscopic imaging, 129–137. ISSN 0169-7439. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemolab.2012.02.006
- [5] RINNAN, Åsmund, Frans van den BERG a Søren Balling ENGELSEN. Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* [online]. 2009, **28**(10), 1201–1222. ISSN 0165-9936. Dostupné z: doi:10.1016/j.trac.2009.07.007
- [6] RODIONOVA, O. Ye. a A. L. POMERANTSEV. NIR-based approach to counterfeit-drug detection. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* [online]. 2010, **29**(8), 795–803. ISSN 0165-9936. Dostupné z: doi:10.1016/j.trac.2010.05.004
- [7] BARNES, R. J., M. S. DHANOA a Susan J. LISTER. Standard Normal Variate Transformation and De-Trending of Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectra. *Applied Spectroscopy* [online]. 1989, **43**(5), 772–777. ISSN 0003-7028. Dostupné z: doi:10.1366/0003702894202201
- [8] RISOLUTI, R., S. MATERAZZI, A. GREGORI a L. RIPANI. Early detection of emerging street drugs by near infrared spectroscopy and chemometrics. *Talanta* [online]. 2016, **153**, 407–413. ISSN 0039-9140. Dostupné z: doi:10.1016/j.talanta.2016.02.044
- [9] SAVITZKY, Abraham. a M. J. E. GOLAY. Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. *Analytical Chemistry* [online]. 1964, **36**(8), 1627–1639. ISSN 0003-2700, 1520-6882. Dostupné z: doi:10.1021/ac60214a047
- [10] MUSELÍK, Jan. APLIKACE BLÍZKÉ INFRAČERVENÉ SPEKTROSKOPIE VE FARMACEUTICKÉ ANALÝZE. *Chem. Listy*. 2012.
- [11] MÍKA, Václav, Alois KOHOUTEK a Pavel NERUŠIL. *Spektroskopie v blízké infračervené oblasti (NIR): výběr praktických aplikací v zemědělství*. B.m.: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2008. ISBN 80-87011-53-8.
-