

**NEJISTOTY MĚŘENÍ, PŘESNOST MĚŘENÍ,
SPRÁVNOST MĚŘENÍ A OTÁZKY SPOJENÉ
SE VZÁJEMNOU POROVNATELNOSTÍ
VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ A S PROHLÁŠENÍM
O SHODĚ S TECHNICKÝMI SPECIFIKACEMI**

Ing. Vladimír Ludvík



Vážení čtenáři a kolegové,

od r. 1996 vydával Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví edici nazvanou „K vnitřnímu trhu Evropské unie“. Většina svazků se těšila zcela mimořádné pozornosti a zájmu.

Cílem vydávání této edice bylo přiblížit technické veřejnosti principy a procedury technické legislativy, zaváděné v souladu s harmonizačními procesy v Evropské unii (EU) i v České republice. I když dnes existují daleko širší zdroje informací, než tomu bylo před několika lety, považujeme za potřebné v této iniciativě pokračovat, neboť jsme přesvědčeni, že napomáhá pochopení právní úpravy v oblastech působnosti ÚNMZ a jejímu správnému uplatňování. Navíc existuje řada dokumentů, které nejsou součástí práva, ale jsou důležité pro praxi. I v mnoha státech EU je technická regulace a harmonizace doprovázena ze strany státních orgánů širokou informační kampaní.

Proto je od roku 2004 vydávána inovovaná edice, přizpůsobená svým zaměřením aktuálnímu vývoji, podmínkám a potřebám. Byl zaveden nový název edice, který zní „Sborníky technické harmonizace ÚNMZ“, nová grafická podoba, i forma distribuce. Edice je k dispozici na stránkách ÚNMZ (www.unmz.cz) a v omezeném počtu nebo na vyžádání je též využívána forma CD-ROM.

Edice bude i nadále vydávána v režii ÚNMZ a volně dostupná při respektování autorských práv.

Věřím, že jak orgány státu, tak soukromá sféra resp. všichni účastníci procesu technické harmonizace a regulace budou v této edici i nadále nacházet užitečný zdroj informací a pomocníka v jejich práci.

Vaše podněty vedoucí k dalšímu zkvalitnění této činnosti ÚNMZ s povděkem uvítáme.



Ing. Alexander Šafařík-Pětrosz,
předseda ÚNMZ

OBSAH

1. Úvod	4
2. Zdroje definic, používaných termínů a pojmů	7
3. Přehled nejvýznamějších dokumentů zabývajících se problematikou nejistot měření	14
4. Problematika nejistot měření obecně	19
5. Nejistota měření, nejlepší měřicí schopnost (BMC), kali- brační měřicí schopnost (CMC), porovnatelnost výsledků měření prováděných metrologickými laboratořemi	34
6. Problematika vyjadřování nejistot měření, uvádění nejistot měření a správného odkazování se na ně	39
7. Nejistoty měření a posuzování shody, nejistoty měření a jejich použití při ověřování měřidel	54
8. Seznam zkratk	63
9. Literatura a odkazy na webové stránky	65

1. ÚVOD

Základním cílem tohoto sborníku je poskytnout – pokud možno – komplexní přehled základních informačních zdrojů týkajících se nejistot měření a provést všeobecné shrnutí současných poznatků týkajících se vyhodnocování, stanovování a uvádění nejistot měření. V neposlední řadě se dále tato práce zabývá podrobněji záležitostmi souvisejícími s metrologií a některými specifickými problémy spojenými s nejistotami měření. Jde zejména o velmi důležitou problematiku související s nejlepšími měřicími schopnostmi (BMC), popř. s kalibračními a měřicími schopnostmi (CMC), což jsou velmi důležité údaje, které mají velký význam z hlediska porovnatelnosti výkonnosti metrologických pracovišť, a dále využití nejistot měření v oblasti posuzování shody v metrologii obecně a zvláště pak při jejich využívání v rámci ověřování za účelem metrologické konfirmace.

V souvislosti s nejistotou měření je třeba zdůraznit, že se na ní podílí celá řada faktorů a že snaha o objektivní podchycení a správné vyhodnocení všech složek nejistoty měření a jejich podílu na celkové nejistotě měření naráží v řadě případů na meze našeho současného poznání příslušného procesu měření. Současně je vhodné zdůraznit, že význam nejistot měření bude do budoucna stoupat, a to především v oblasti posuzování shody s technickými specifikacemi. Na každý pád je nutné mít vždy na paměti, že výsledek měření, pokud ho chápeme komplexně a pokud nám má také poskytnout komplexní informace, je dán změřenou hodnotou a s ní nerozlučně spojenou nejistotou této změřené hodnoty, což jsou dvě strany jedné mince, které jsou právě z důvodu platnosti této mince neoddělitelné.

Při analýze nejistot měření je třeba vždy zvažovat základní faktory, kterými jsou:

- lidé provádějící a zabezpečující proces měření,
- podmínky prostředí, v němž se měření realizuje,
- výběr a podrobnost znalosti používaných měřicích metod a jejich validačních parametrů,
- detailní informace týkající se používaného měřicího vybavení a veškeré podstatné informace týkající se metrologických kon-

firmací měřicího vybavení (včetně nejistot kalibrací měřicího vybavení a informací o návaznosti měřidel a výsledků měření), detailní informace o způsobech výběru vzorků, které jsou předmětem měření,

- a v neposlední řadě všechny podstatné informace o zacházení a manipulaci s měřicím vybavením.

Dnes je již běžné, že jsou postupy pro odhad a stanovení nejistot měření dokumentovány, ale stále je třeba si také uvědomit, že přes řadu po matematické stránce teoreticky velmi dobře propracovaných dokumentů a dokonce i příkladů, kde je matematická teorie související s odhady a stanovování bezesporně aplikována, existují oblasti měření a zkoušení, kde není možno tyto formálně správné a statisticky a metrologicky odůvodněné postupy pro stanovení nejistot jednoduše aplikovat. Pak je třeba vycházet z dlouhodobých zkušeností s příslušnými procesy měření, z archivovaných záznamů o měření, odborné literatury a dalších zdrojů informací (např. informací o výsledcích mezilaboratorních porovnání nebo kruhových testů atd.) a pokusit se o identifikaci všech složek nejistot měření a o danému stavu poznání odpovídající odhad nejistoty měření/měřicího procesu, tak aby výsledky měření nebyly udávány s nerealistickými odhady nejistot měření.

Snahou do budoucna nesporně bude, aby vycházely dokumenty o nejistotách měření doplněné přílohami obsahujícími příklady odhadu a stanovování nejistot u jednotlivých měření a dále to, aby u normalizovaných metod měření nebo zkoušení byla vždy kapitola zabývající se stanovením nejistoty měření a případně i způsobem její aplikace pro možné stanovení shody s technickými specifikacemi.

Základním dokumentem zabývajícím se problematikou nejistot měření je samozřejmě Pokyn pro vyjadřování nejistot měření (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, dále jen GUM), který byl vydán společně BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP a OIML. Od jeho posledního revidovaného vydání v ISO uběhlo v tomto roce deset let. Jelikož se jedná o velmi důležitý dokument, je vhodné uvést pár slov o historii jeho vývoje.

Historie vývoje tohoto dokumentu začíná v roce 1977, kdy na základě poznání, že neexistuje jednotný mezinárodně uznávaný pří-

stup k provádění odhadů, stanovování a uvádění nejistot měření, přidělil Mezinárodní výbor pro váhy a míry (Comité International des Poids et Mesures, dále jen CIPM) Mezinárodnímu úřadu pro váhy a míry (Bureau International des Poids et Mesures; dále jen BIPM) zakázku na vyřešení tohoto problému. BIPM, společně s národními metrologickými instituty a ostatními zainteresovanými organizacemi, vypracoval doporučení INC-1 (1980), „Vyjadřování experimentálních nejistot“, které bylo CIPM schváleno v roce 1986. Úkolem vypracování podrobného dokumentu obsahujícího návrh na provádění odhadů, stanovování a vyjadřování nejistot měření byla pak pověřena Mezinárodní normalizační organizace (International Standardization Organization, dále jen ISO), protože ISO zastupuje zájmy všech důležitých zainteresovaných stran. Vývoj dokumentu byl svěřen Technické poradenské skupině ISO pro metrologii (TAG 4) a tato pracovní skupina a její stanovené pracovní podskupiny při vývoji dokumentu úzce spolupracovaly s dalšími významnými mezinárodními organizacemi (BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML). V roce 1993 pak vyšlo první vydání GUM. Druhé vydání GUM je z roku 1995, přičemž toto vydání obsahuje pouze drobné úpravy a změny proti vydání prvnímu.

2. ZDROJE DEFINIC, POUŽÍVANÝCH TERMÍNŮ A POJMŮ

- a) **Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, issued by BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML (Pokyn pro vyjadřování nejistot měření. Vydáno společně BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP a OIML – vyšel jako předběžná evropská norma ENV 13005:1998 a v současné době je připravován k vydání jako ČSN P ENV 13005)**

O historii tohoto dokumentu bylo stručně pojednáno již v úvodu a podrobněji o jeho obsahu bude pojednáno v následující kapitole. Nyní pouze z hlediska definic termínů a pojmů v něm obsažených. Jsou zde obsaženy definice základních termínů a pojmů týkajících se nejistot měření. Jedná se především o samotnou definici pojmu „nejistota měření“, která je převzata z Mezinárodního slovníku základních a všeobecných termínů v metrologii (International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, dále jen VIM). Je však nutno vyzvednout to, že proti VIM je zde obsažen rozšířený komentář k této definici a tato definice je doplněna o definice dalších důležitých termínů a pojmů vztahujících se k dané problematice, jako jsou např. standardní nejistota, standardní nejistota vyhodnocovaná způsobem A (někdy se též mluví o standardní nejistotě typu A), standardní nejistota vyhodnocovaná způsobem B (někdy se též mluví o standardní nejistotě typu B), kombinovaná standardní nejistota, koeficient rozšíření (někdy jsou používány též termíny koeficient pokrytí nebo faktor pokrytí) atd. Další pojmy a termíny jsou pak vysvětlovány v textu návodu. Tyto definice jsou uvedeny v kapitole 2 dokumentu GUM. Dále pak jsou v příloze B dokumentu GUM uvedeny další definice souvisejících pojmů a termínů z oblasti veličin měření, měření, výsledků měření, správnosti a přesnosti měření, opakovatelnosti, reprodukovatelnosti, ovlivňujících veličin, chyb měření a jejich korekcí, přičemž se zde ovšem již jedná pouze o definice převzaté ze stávajícího VIM. V příloze C dokumentu GUM jsou pak definice základních termínů a pojmů z oblasti statistiky. V příloze D dokumentu GUM jsou dále důležitá vysvětlení týkající se pravé hodnoty měření, korigovaných hodnot, chyb a nejistot měření.

b) VIM:1993 Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii. Vydáno společně BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML (vyšel jako česká technická norma ČSN 01 0115:1996 – obsahuje české národní poznámky, které v anglickém originálu nejsou; v současné době lze očekávat, že bude brzy vydán nový VIM, který řadu termínů na základě zkušeností a vývoje terminologie definuje lépe nebo je zpřesňuje).

Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii definuje nejdůležitější termíny a pojmy z oblasti veličin měření, jednotek měření, výsledků měření, měřidel a charakteristik měřidel a etalonů. Norma je doplněna o rejstříky termínů a pojmů v jazyce anglickém, německém a francouzském. Bohužel tento slovník byl vydán v roce 1993 (2. vydání VIM) a neodráží tedy již poměrně rozsáhlý vývoj, k němuž došlo především v posledních 10 letech a ani se nezabývá vztahem k novým rychle se rozvíjejícím oblastem působnosti metrologie, jako jsou např. chemie, mikrobiologie, klinická měření atd. Tyto skutečnosti spolu s dalším vývojem v přechodu od klasického vyhodnocení výsledků měření k přístupu zahrnujícímu jako součást výsledku měření též nejistotu měření vyvolaly potřebu revize tohoto důležitého základního dokumentu. Další změnou v připravovaném třetím vydání VIM je dále to, že neobsahuje některé termíny a pojmy, které byly součástí vydání druhého, a to z toho důvodu, že tyto definice a pojmy nejsou nadále považovány za termíny a pojmy základní – nebo všeobecné – a naopak jsou uvedeny definice řady nových termínů a pojmů. To se zvláště týká právě pojmu nejistoty měření (zde jde o velmi podstatné rozšíření, a to i o definice některých pojmů a termínů, které jsou vysvětlovány zatím pouze ve vlastním textu GUM) a také pojmu návaznosti měření. Speciálně je pak v připravovaném třetím vydání VIM věnována pozornost problematice chemických měření a klinických měření (nebo vyšetřování). Je třeba zdůraznit, že VIM se i ve svém druhém vydání zaměřoval především na oblast klasických fyzikálních měření. Rozšířená oblast, kterou připravované třetí vydání VIM pokrývá, se odráží též na množství doplňkových praktických příkladů.

- c) **ISO 3534-1 až 3, Statistika – Slovník a značky – Části 1 až 3 (vyšla jako česká technická norma ČSN ISO 3534-1 a 2 v roce 1994 a část 3 ve druhém vydání v roce 2001 – toto vydání ruší první vydání z roku 1993)**

Tato norma ve své první části uvádí definice termínů a pojmů z oblasti pravděpodobnosti a obecné statistiky [definice termínů používaných v teorii pravděpodobnosti, definice obecných statistických termínů, definice obecných statistických termínů vztahujících se k pozorováním a výsledkům zkoušek, definice obecných statistických termínů vztahujících se k metodám vzorkování a tvorby výběrů], ve své druhé části uvádí definice termínů a pojmů z oblasti statistického řízení jakosti (definice obecných statistických termínů z oblasti řízení jakosti, definice termínů vztahujících se k odběru vzorků a k výběrovým přejímkám, definice vztahující se k mírám (ukazatelům) procesu], ve své třetí části uvádí definice termínů a pojmů z oblasti navrhování experimentů (definice obecných termínů z oblasti navrhování experimentů, definice termínů z oblasti uspořádání experimentů, definice termínů z oblasti metod analýzy). Zejména definice základních statistických termínů, které jsou převzaty z normy ISO 3534-1, jsou základním zdrojem definic pro celou řadu pojmů a termínů používaných v GUM a dalších základních dokumentech, které se zabývají problematikou nejistot měření. Je však skutečností, že některé definice pojmů a termínů z této části GUM jsou ve specifických dokumentech zabývajících se nejistotami (zejména tedy právě v GUM) podrobněji vysvětleny a že často obsahují též definice některých příbuzných termínů, které nejsou v ISO 3534-1 obsaženy.

- d) **ISO 5725-1 až 6: Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření – Části 1 až 6 (vyšla jako česká technická norma ČSN ISO 5725-1 až 6 v roce 1997, pouze část 5 v roce 1999)**

Tato norma obsahuje zejména v části 1 důležité definice termínů a pojmů z oblasti přesnosti, shodnosti a správnosti metod a výsledků měření (tedy pojmů, které s nejistotou měření souvisejí, popř. jsou v dokumentech zabývajících se měřením a nejistotami měření často zmiňovány). Jedná se tedy o definice termínů a pojmů z následujících oblastí: obecné zásady a definice z ob-

lasti přesnosti, shodnosti a správnosti metod a výsledků měření, definice termínů z oblasti stanovení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti normalizovaných metod měření, definice termínů z oblasti měř shodnosti, přesnosti a správnosti normalizovaných metod měření a v neposlední řadě popisy metod stanovení správnosti, shodnosti a přesnosti normalizovaných metod měření. V poslední době byly Terminologickou komisí ÚNMZ navrženy některé významné změny týkající se českých překladů termínů, pojmů a jejich definic obsažených v české verzi této normy.

e) Metrologická terminologie v chemii, Chem. Listy 94, 439-444 (2000)

V tomto materiálu, který je významný především v českém prostředí v oblasti analytické chemie, jsou uvedeny termíny a pojmy a jejich definice, které jsou publikovány ve VIM nebo jiných výše citovaných normách a normativních dokumentech, jejichž český překlad vyvolává v chemii problémy. Na prvním místě ze zdrojů definic termínů je tedy uváděn „Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii“ vydaný ISO jako mezinárodní terminologický zdroj, který je v metrologii vysoce uznáván. Dále následují další materiály ISO, ale práce odkazuje i na výskyt termínů v dalších zdrojích, jako jsou publikace Mezinárodní unie pro čistou a užitou chemii – IUPAC, materiálech organizace Association of Official Analytical Chemists (AOAC International), American Society for Testing and Materials (ASTM) a dalších, které jsou též velmi respektovanými tradičními zdroji názvosloví v oblasti chemie. Z uvedených skutečností vyplývá závěr, že podstata problémů používání metrologického názvosloví v chemii nespočívá v nejasnosti náplně jednotlivých termínů anebo v nesouladu názvosloví v technických normách s názvoslovím publikovaným v respektovaných mezinárodních chemických zdrojích, ale v konfliktu mezi názvy zvolenými při překladu norem do češtiny a v chemii tradičně používanými pojmy (jedná se zde zejména o problém u normy ČSN ISO 5725:1997).

f) **ISO/TS 21748:2004, Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty estimation (vyšla jako česká technická norma ČSN P ISO/TS 21748:2005, Pokyn pro použití odhadů opakovatelnosti, reprodukovatelnosti a správnosti při odhadování nejistoty měření)**
Zde uváděné definice termínů a pojmů jsou převzaty z ISO 3534-1 a GUM.

g) **ISO/IEC Guide 43-1:1997, Proficiency testing by interlaboratory comparisons — Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes (ISO/IEC Pokyn 43-1:1997, Zkoušení způsobilosti prostřednictvím mezilaboratorních porovnání — Část 1: Vývoj a provozování programů zkoušení způsobilosti – v češtině dosud nevydán)**

Tento ISO/IEC pokyn obsahuje nejenom definice některých důležitých termínů a pojmů z oblasti zkoušení způsobilosti a mezilaboratorního porovnání (ty jsou ostatně obsaženy v řadě již výše zmíněných dokumentů), ale hlavně obsahuje řadu cenných vysvětlení k těmto pojmům. Je logické, že nejistoty měření hrají při vyhodnocování programů mezilaboratorních porovnání značnou roli zejména u kalibračních laboratoří, ale jejich význam se zvyšuje též u zkušebních laboratoří.

h) **ISO 15189:2003, Zdravotnické laboratoře – Zvláštní požadavky na jakost a způsobilost (vydána jako česká technická norma ČSN EN ISO 15189:2004)**

Tato norma obsahuje definice některých termínů a pojmů, které jsou specifické pro oblast zdravotnických nebo klinických laboratoří a pro jejich systém jakosti a systém managementu měření (nebo, v daném případě lépe řečeno, vyšetřování).

i) **VIML:2000 – International Vocabulary of Terms in Legal Metrology (vydáno OIML – česká verze bude k dispozici v překladu ČMI koncem roku 2005)**

Jedná se o základní terminologický slovník definující a vysvětlující nejdůležitější pojmy a termíny z oblasti legální metrologie, činností spojených s legální metrologií, dokumenty a značky používané v oblasti legální metrologie, jednotky měření a mě-

řidla ve vazbě na legální metrologii. Definice týkající se pojmů a termínů z oblasti nejistot měření sice přímo neobsahuje, ale jde o to, že v oblasti legální metrologie lze využití nejistot měření předpokládat, a to zejména ve vazbě na postupy posouzení shody měřidel a ve vazbě na ověřování měřidel.

j) ISO 10012:1993, Systémy managementu měření – Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení (vyšla jako česká technická norma ČSN EN ISO 10012:2003)

V této normě jsou definovány některé velmi důležité pojmy a termíny, jako jsou systém managementu měření, proces měření, měřicí vybavení, metrologická charakteristika, metrologická konfirmace, metrologická funkce. Tyto pojmy a termíny nejsou sice pro problematiku nejistot měření základní, ale mají svůj zprostředkovaný význam ve vazbě na nejistotu měření jako neodmyslitelnou součást výsledku měření.

k) ISO/IEC Guide 2:2004, Standardization and related activities – General vocabulary [tento ISO/IEC pokyn bude vydán formou normativního dokumentu (nikoli tedy formou normy) v Českém normalizačním institutu koncem roku 2005 – v důsledku vydání tohoto pokynu a normy ISO/IEC 17000 (převzata CEN jako EN ISO/IEC 17000) byl zrušen starý ISO/IEC Guide 2:1996 a norma EN 45020:1998, která byla s tímto pokynem identická]

Tento definiční zdroj je uváděn pouze pro doplnění, protože může obsahovat důležité informace z hlediska odkazování se na zdroje definic v normách. Jedná se o normu obsahující definice termínů a pojmů z oblasti normalizace, cílů normalizace, normativních dokumentů, orgánů odpovědných za normy a předpisy, druhů norem, harmonizace norem, obsahu normativních dokumentů, struktury normativních dokumentů, přípravy a vypracovávání normativních dokumentů, zavádění normativních dokumentů, odkazů na normy a předpisy. V podstatě lze říci, že základním rozdílem mezi ISO/IEC Guide 2:1996 a ISO/IEC Guide 2:2004 je to, že ISO/IEC Guide 2:2004 již neobsahuje definice pojmů a termínů z oblasti posuzování shody, akreditace a vzájemného posuzování. Kapitoly 1 až 12 ISO/IEC Guide 2:1996 jsou v podstatě totožné s kapitolami 1 až 12 ISO/IEC Guide 2:2004.

Kapitoly 13 až 17 ISO/IEC Guide 2:1996 v ISO/IEC Guide 2:200 4 obsaženy nejsou.

l) ISO/IEC 17000:2004, Posuzování shody – Všeobecný terminologický slovník (vyšla jako EN ISO/IEC 17000:2004 a posléze jako ČSN EN ISO/IEC 17000:2005)

Norma definuje termíny a pojmy z následujících oblastí: obecné a základní termíny z oblasti posuzování shody a akreditace, posuzování shody vztahující se k činnostem výběru a stanovení, posuzování shody vztahující se k činnostem přezkoumání a potvrzení, posuzování shody ve vazbě na usnadnění obchodu. Opět jde pouze o doplňující zdroj definic některých termínů a pojmů, které sice přímo s problematikou nejistot měření nesouvisejí, ale které jsou v dalším textu používány. Právě oblast posuzování shody je velmi důležitá, neboť právě zde jsou měření, vyhodnocení výsledku měření a stanovení shody s odpovídajícími technickými specifikacemi profilovou činností.

m) ISO 9000:2000, Systémy managementu jakosti – Základy, zásady a slovník [vyšla jako česká technická norma ČSN EN ISO 9000:2001 (druhá edice 2002 – v tomto druhém vydání je zapracována oprava ČSN EN ISO 9000:2001/OPRAVA 1:2001)]

V této normě jsou obsaženy definice termínů a pojmů vztahujících se k jakosti (v normě je používán termín jakost a norma zavádí termín jakost a termín kvalita jako termíny rovnocenné), managementu a systémům managementu kvality, organizaci, zákazníkům a dodavatelům, procesům a produktům, znakům a charakteristikám procesů a produktů, shodě, neshodě, vadám, opatřením k nápravě, preventivním opatřením, opravám, výjimkám, odchylkám, dokumentaci a dokumentům, specifikacím, záznamům, zkoumání (objektivní důkaz, validace, ověřování, kontrola, zkouška, přezkoumání), auditu (program auditů, kritéria, důkazy, zjištění, závěry, auditor, tým auditorů, odborná způsobilost, kvalifikace), jakosti procesů měření (proces měření, metrologická confirmace, systém řízení měření, měřicí zařízení, metrologický znak a metrologická funkce). Bohužel i v druhém vydání této normy z roku 2002 jsou používány názvy některých termínů v zastaralé podobě – místo „systému managementu měření“ se používá „systém řízení měření“ atd.

3. PŘEHLED NEJVÝZNAMNĚJŠÍCH DOKUMENTŮ ZABÝVAJÍCÍCH SE PROBLEMATIKOU NEJISTOT MĚŘENÍ

- a) **Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.** Vydáno společně BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML [Pokyn pro vyjadřování nejistot měření. Vydáno společně BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP a OIML) OIML – vyšel jako předběžná evropská norma ENV 13005:1998 a v současné době je připravován k vydání jako ČSN P ENV 13005]

Jedná se v podstatě o základní podkladový dokument pro oblast odhadu, stanovení a vyjadřování nejistoty měření, který – kromě výše zmíněných definic termínů a základních pojmů používaných v rámci problematiky nejistot měření – obsahuje vysvětlení k těmto termínům a základním pojmům, včetně uvedení příkladů přístupu k těmto pojmům, postupy pro modelování měření za účelem stanovení odhadů jednotlivých složek a včetně přístupu A a B k vyhodnocení nejistot měření, pravidel pro stanovení kombinované standardní nejistoty (včetně případů vzájemné závislosti jednotlivých zdrojů nejistot), stanovení rozšířené nejistoty měření (včetně obecných pravidel týkajících se volby potřebné hodnoty koeficientu rozšíření), způsobu uvádění nejistot a v neposlední řadě podrobného postupu pro vyhodnocení a vyjadřování nejistot měření. V přílohách (celkem 70 stránek textu) jsou pak uváděny, jak již bylo uvedeno, další doplňkové definice používaných termínů a pojmů a příslušných vysvětlení k nim a celá řada praktických návodů a doporučení jak postupovat při stanovení odhadu nejistot měření, jejich vyhodnocování a při jejich uvádění.

- b) **EA 4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration (EA4/02 – Vyjadřování nejistot měření při kalibracích)**

Tento dokument je odvozen z předchozího dokumentu (jedná se někdy o zjednodušení přístupu). Je využitelný především v oblasti kalibračních laboratoří pro provádění kalibrací měřidel. Základní text dokumentu je soustředěn na 14 stránkách (15 stránek v anglickém originálu) obsahujících základní zásady

a definice používaných termínů, postupy pro stanovení nejistot měření pro odhady hodnot vstupních veličin, postup při výpočtech standardních nejistot, odhadu hodnoty veličiny výstupní, postup pro stanovení nejistoty měření, pravidla pro vyjadřování nejistot v kalibračních listech a podrobný postup pro výpočet nejistoty měření. Velmi cennou součástí tohoto dokumentu jsou jeho přílohy (celkem asi 60 stránek textu), kde je řešena základním způsobem problematika vyhodnocování tzv. nejlepší měřicí schopnosti (BMC), uvedena řada dalších definic důležitých termínů, diskutována problematika zdrojů nejistot při kalibracích, řešena problematika korelovaných (závislých) vstupních veličin, řešena problematika odvození koeficientu rozšíření z efektivního počtu stupňů volnosti a kde je také obsaženo 13 vzorových stanovení nejistot kalibrací pro různé obory kalibrací. Tento dokument je možno získat zdarma v českém překladu z internetových stránek Českého institutu pro akreditaci, o.p.s.: www.cai.cz. Český název tohoto dokumentu je „Vyjadřování nejistot měření při kalibracích“. V anglické verzi je možné ho získat zdarma z internetových stránek EA (European co-operation for Accreditation): <http://www.european-accreditation.org>.

c) EURACHEM/CITAC – Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement (EURACHEM/CITAC – Stanovení nejistot analytického měření)

Tento dokument má samozřejmě hlavní využití v oblasti analytických zkušebních laboratoří. Nicméně existuje také oblast chemické metrologie (potažmo existují též kalibrační laboratoře působící v oblasti chemické metrologie) a řada postupů obsažená v tomto dokumentu je plně využitelná právě v této oblasti. Analytická měření a metrologie v oblasti chemie mají samozřejmě řadu svých specifik, která se projevují již v terminologii a která mají i značný dopad na poněkud odlišné metody stanovení nejistot těchto měření tam, kde je to potřebné a vhodné. Dokument sám má celkem 129 stránek, přičemž základní definice termínů a základní informace jsou na přibližně šesti stranách. Poněkud rozsáhlejší a specificky propracovanou kapitolou je pak „Postup odhadování nejistot měření“, který je rozveden v českém překladu tohoto dokumentu na asi 17 stranách textu.

Samostatná kapitola se pak zabývá problematikou uvádění nejistot a dokument je dále doplněn o příklady (přibližně 60 stran textu) a další přílohy vztahující se k problematice stanovování nejistot analytických měření (asi 22 stran textu). Dokument lze získat v anglickém originálu z internetových stránek EURACHEM: www.eurachem.ul.pt zdarma, popř. zakoupit jeho český překlad, protože dokument byl vydán v češtině EURACHEM ČR pod názvem KVALIMETRIE 11 „Stanovení nejistot analytického měření“. Informace o jeho získání je k dispozici na internetových stránkách www.eurachem.cz/eurachem-cr/index.htm.

d) NORDTEST TR 537 – Handbook for calculation of measurement uncertainty in environmental laboratories, EDITION 2:2003 (Příručka pro výpočet nejistot měření v laboratořích působících v oblasti životního prostředí)

Tento dokument není přeložen do češtiny a lze ho získat na internetových stránkách organizace NORDTEST www.nordtest.org. Cílem dokumentu je poskytnout vybraným typům environmentálních laboratoří praktický a srozumitelný návod ke stanovení nejistot měření na základě informací získaných z dat z oblasti managementu jakosti a informací z validace metod měření. Jeho přístup se opírá zejména o normativní dokument ISO/TS 21748:, který byl vydán jako ČSN P ISO/TS 21748:2005. Nutno připomenout, že přístupy v ISO/TS 21748:2005 přímo vyžadují současnou znalost opakovatelnosti i reprodukovatelnosti a jejich získání závazným experimentem popsáním v ISO 5725-2. Obsahuje též řadu praktických příkladů. Přístup ke stanovení nejistot měření podle tohoto dokumentu je stále předmětem diskusí, ale na každý pád se jedná o dokument velmi zajímavý a řadou především chemických laboratoří nesporně využívaný.

e) ISO/TS 21748:2004, Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty estimation (vyšla jako česká technická norma ČSN P ISO/TS 21748:2005, Pokyn pro použití odhadů opakovatelnosti, reprodukovatelnosti a správnosti při odhadování nejistoty měření)

Tato technická specifikace uvádí metodologii pro odhadování nejistoty přidružené k výsledku měření pomocí normalizova-

né zkušební metody, která plně vyhovuje principům uvedeným v GUM, přičemž využívá dat o způsobu provádění metody získaných v rámci studie zúčastněných laboratoří. České termíny používané v této technické specifikaci jsou používány ve shodě s českými překlady příslušných anglických termínů, které jsou uvedeny v ČSN ISO 17025. Obecný model použitý v technické specifikaci vyžaduje, aby odhady opakovatelnosti, reprodukovatelnosti a správnosti použité metody byly získány pomocí studie zúčastněných laboratoří v souladu s ISO 5725-2:1994. Obecný model použitý v této technické specifikaci dále vyžaduje, aby:

- odhady opakovatelnosti, reprodukovatelnosti a správnosti použité metody získané pomocí studie zúčastněných laboratoří v souladu s ISO 5725-2:1994 byly k dispozici z publikované informace o použité zkušební metodě. Ty poskytují odhady vnitrolaboratorních a mezilaboratorních složek rozptylů spolu s odhadem nejistoty spojené se správností metody;
- laboratoř potvrzuje, že její zavedení zkušební metody je v souladu se stanovenou způsobilostí zkušební metody při kontrolování její vlastní strannosti a shodnosti. To potvrzuje, že publikovaná data jsou použitelná na výsledky získané laboratoří;
- všechny faktory ovlivňující výsledky měření, které nebyly přiměřeně pokryty studií zúčastněných laboratoří byly identifikovány a byl kvantifikován rozptyl spojený s výsledky, který mohl vzniknout z těchto vlivů.

Kombinací odpovídajících odhadů způsobem popsaným v GUM se získá odhad nejistoty.

Rozptýlení výsledků získaných při této vzájemné spolupráci laboratoří může být užitečné také při porovnávání s odhady nejistot měření získaných postupy GUM jako test správného pochopení metody. Taková porovnání jsou mnohem přínosnější při dané konzistentní metodologii pro odhadování stejného parametru pomocí dat získaných ze studie zúčastněných laboratoří.

Pouze drobná poznámka k terminologii používané v této normě. Je zde stále používána norma vycházející z terminologie používané v normách ČSN ISO 3534 a ČSN ISO 5725, což je sice formálně správný přístup, ale tato terminologie je dnes již v rozporu se závěry Terminologické komise ÚNMZ, jak mají být některé termíny nadále překládány.

f) Další dokumenty

Existuje samozřejmě celá řada dalších dokumentů, které jsou však již velmi specifické. Odkazy na ně lze nalézt, jak již bylo řečeno výše, v seznamech odkazů a literatury ve výše zmíněných dokumentech nebo na internetu.

Obecně lze ještě jako zdroj popisu různých statistických metod sloužících k vyhodnocení dat z měření a pomáhajících tak v řadě případů též při analýze zdrojů nejistot doporučit obsažný dokument **Engineering Statistic Handbook**, který vydal NIST. Tento dokument je k dispozici a k volnému stažení na internetové stránce: www.itl.nist.gov/div898/handbook.

Na velmi dobré úrovni byl zpracován přístup ke stanovování nejistot měření zejména v kalibračních laboratořích před několika lety v časopise *Automa* v následujících článcích autorů Vdolečka, Palenčára a Halaje:

Nejistoty měření I: Vyjadřování nejistot, Automa číslo 7-8, 2001,

Nejistoty měření II: Nejistoty přímých měření, Automa číslo 10, 2001,

Nejistoty měření III: Nejistoty nepřímých měření, Automa číslo 12, 2001,

Nejistoty měření IV: Nejistoty při kalibraci a ověřování, Automa číslo 4, 2002.

Tyto články lze získat na internetových stránkách časopisu *Automa*: www.automa.cz

4. PROBLEMATIKA NEJISTOT MĚŘENÍ OBECNĚ

4.1 Úvod

Účelem této kapitoly není v žádném případě uvádět znovu to, co bylo transparentněji, lépe a podrobněji uvedeno v dokumentech zmíněných v kapitole 3. Účelem této kapitoly je zamyslet se nad některými problémy, které se ve vazbě na problematiku nejistot měření vyskytují a které způsobují určitá nedorozumění, popř. i rozpory a problémy při praktickém odhadování, stanovování a uvádění nejistot měření. Také jde o vysvětlení vzájemného vztahu chyb měření, nejistot měření, správnosti, přesnosti a dalších důležitých pojmů atd. Současně je třeba uvést, že je zde používána celá řada termínů a pojmů, jejichž definice lze nalézt v dokumentech zmíněných v kapitole 2. Až na výjimky zde nejsou definice těchto termínů a pojmů znovu uváděny. V dalším textu budeme dále vycházet z terminologických doporučení Terminologické komise ÚNMZ.

Žádné měření není ze své podstaty absolutně správné (o vztahu správnosti a přesnosti viz dále). Ponecháme-li stranou filozofickou skutečnost, že předmět našeho zájmu se mění již tím, že se ho pokoušíme pozorovat (a tedy např. třeba i měřit), pak je třeba vzít v úvahu to, že při měření existuje celá řada vlivů (z pohledu pozorovatele vnějších i vnitřních), které se u probíhajícího měřicího procesu projevují formou odchylky mezi naměřenou hodnotou měřené veličiny a její pravou hodnotou. Výsledek měření se pak v závislosti na použitém měřidle, použité měřicí metodě a dalších reálných faktorech měření pohybuje v určitém rozmezí kolem pravé hodnoty. Zde je třeba doplnit, že toto platí za předpokladu, že se nám podařilo odstranit všechny nejdůležitější zdroje systematických chyb (např. pomocí příslušných korekcí těchto chyb), protože jinak takový výsledek měření může být pravé hodnotě měřené veličiny značně vzdálen. Toto rozmezí (interval), které je pak možno racionálně přiřadit k dané hodnotě měřené veličiny nazýváme nejistotou měření a podle GUM má být tento interval vázán na číselně danou hodnotu pravděpodobnosti pokrytí neznámé pravé hodnoty tímto intervalem. Pokud bychom ale trvali na tom, že chceme získat interval, ve kterém se zcela určitě nachází pravá

hodnota měřené veličiny, pak bude tento interval vždy nekonečně veliký v tom smyslu, že jedna nebo obě meze takového intervalu budou ležet v nekonečnu (záleží zde na fyzikální interpretaci dané veličiny měření, v případě, že obě meze leží v nekonečnu, pak je třeba mít na mysli interval od $-\infty$ do $+\infty$). Nejistota měření je tedy v souladu s GUM a VIM definována jako:

„Parametr přidružený k výsledku měření, který charakterizuje rozptýlení hodnot, jež by mohly být důvodně prisuzovány k měřené veličině.“

Téměř vždy je třeba počítat s tím, že nejistota měření je způsobena řadou vlivů, které se na ní podílejí. Mluvíme pak o jednotlivých složkách nejistoty měření, které se podílejí na výsledné nejistotě daného měření.

4.2 Obecné problémy při vyhodnocování a stanovování nejistot měření

Vyhodnocování nejistot měření je nutné považovat za neustálý proces, který je samozřejmě časově i finančně určitým způsobem náročný. Tento proces jednoznačně vyžaduje, aby ten, kdo je za jeho realizaci odpovědný, byl osobou dobře obeznámenou s příslušnými technikami analýzy zdrojů nejistot a zvláště pak osobou zkušenou v oblasti používání statistických metod. Souvisí to též s pečlivým zabezpečením relevantních informačních zdrojů, se sběrem dat a s jejich precizní základní vstupní analýzou.

U některých subjektů (zpravidla se jedná o zkušební laboratoře nebo kontrolní místa realizující měření) je objektivní skutečností, že nemají a ani nemohou mít k dispozici všechny zdroje pro provádění detailní analýzy nejistot měření. Požadavky některých norem, jako jsou např. normy řady ISO 9000, kde se vyžaduje, aby každý výsledek měření byl uváděn s adekvátní nejistotou měření, popř. obdobné požadavky některých dalších norem, jako je např. ISO 10012 nebo některé normy řady ISO/IEC 17000 z oblasti posuzování shody (např. ISO/IEC 17025), lze pak v některých konkrétních příkladech hodnotit jako nadsazené a nesplnitelné. Suverénní vystupování některých posuzovatelů vyžadujících něco, co není možné poskytnout, pak není na místě, a toto jejich vystupování je vystupováním lidí, kteří chtějí posuzovat něco, o čem nemají sami elementární vlastní základní znalosti.

Dalšími případy, kdy lze jen obtížně uvádět objektivně stanovené hodnoty nejistot měření, jsou případy, kdy např. zkušební laboratoř nebo zkušebna zkouší široké spektrum různých výrobků, kde se požadavky na rozsah a skladbu měření neustále mění, popř. provádí měření specifického charakteru (jedná se zpravidla o měření, která lze charakterizovat jako měření dynamická), která značně závisejí na prostředí, ve kterém jsou realizována (příkladem může být provádění akustických měření v terénu). Tyto situace mají být řešeny v budoucnu (případně jsou již dnes tak řešeny) prostřednictvím organizací – jako je např. ISO – tím způsobem, že přímo v normách a normativních dokumentech budou obsažena doporučení obsahující určitá zjednodušení, která umožní stanovit nejistotu realizovaných měření. Zde je třeba si uvědomit, že tak ale bude docházet k tomu, že v některých případech nebudou takto stanovené nejistoty měření odpovídat reálné situaci a že je zde velké nebezpečí neopodstatněného rozšiřování tohoto přístupu, který se může jevit jako velmi pohodlný způsob, jak se zbavit odpovědnosti za precizní analýzu zdrojů nejistot měření, jejich vyhodnocení a stanovení nejistoty měření.

Další možností je tam, kde je to možné, využití výsledků různých experimentálních studií výkonnosti metody a realizovaných programů zkoušení způsobilosti formou mezilaboratorních porovnání. Výsledky experimentálních studií, u kterých byla dodržena reprezentativnost, zpravidla poskytují celkový přehled o různých vlivech na měření a obsahují také zpravidla poměrně precizně zpracované informace týkající se opakovatelnosti a reprodukovatelnosti určité metody měření/zkoušení. Samozřejmě že nelze zaměňovat opakovatelnost nebo reprodukovatelnost s nejistotou měření. Nakonec účel experimentálních studií a v neposlední řadě též mezilaboratorních porovnání je zpravidla jiný než stanovení nejistoty měření. Účelem experimentálních studií je zpravidla zlepšit používání určité metody měření nebo zkoušení v rámci určitého odvětví, zatímco účelem analýzy nejistoty měření je zhodnocení výsledku určitého reálného vykonaného měření. Nicméně jsou zde určité souvztažnosti, které lze využít ke stanovení nejistoty měření. Tyto postupy, jak využít podkladů získaných v rámci experimentálních studií a v rámci mezilaboratorního zkoušení způsobilosti prostřednictvím mezilaboratorního porovnání, pro stanovení odhadu

nejistot měření, jsou podrobněji rozpracovány a uvedeny především v dokumentu NORDTEST TR 537 – „Handbook for calculation of measurement uncertainty in environmental laboratories“ a zejména pak v ČSN P ISO/TS 21748:2005, „Pokyn pro použití odhadů opakovatelnosti, reprodukovatelnosti a správnosti při odhadování nejistoty měření“. Nemá tedy smysl zde podrobně rozebírat to, co je obsahem těchto dvou významných dokumentů, které jsou lehce dostupné (v případě zmíněné normy zakoupením ČNI a v případě dokumentu NORDTEST stažením z internetu – viz předchozí kapitola). Je pouze třeba zmínit, že tyto postupy stanovení nejistot měření nejsou ideální a že v určitých laboratořích mohou být zdrojem nerealistických odhadů nejistot měření (a to jak ve smyslu nadhodnocených, tak i podhodnocených odhadů nejistot měření).

4.3 Problematika odhadu a stanovení jednotlivých složek nejistot měření podle GUM

Nyní stručně k metodám odhadu jednotlivých složek nejistot měření.

V první řadě je třeba zdůraznit, že klasický přístup k odhadu nejistoty měření (přístup GUM) vychází z následujících základních principů:

1. všechny složky nejistoty jsou vyjádřeny formou směrodatné odchylky,
2. zpravidla se předpokládá, že všechny odchylky (systematické chyby) jsou korigovány a případné nejistoty v souvislosti s těmito systematickými chybami jsou nejistotami těchto korekcí,
3. nulové korekce jsou možné pouze, pokud příslušné odchylky (systematické chyby) nemohou být korigovány, a pak musí být stanovena nejistota s nimi spojená,
4. všechny intervaly nejistot musí být symetrické.

Složky nejistoty měření se dělí na dvě velké skupiny, které jsou dány zdrojem nebo příčinou jejich vzniku (tady je třeba zdůraznit, že se někdy chybně používá přirovnání, že první skupina složek nejistot jsou něco jako náhodné chyby a druhá něco jako systematické chyby – před tímto vyloženě nepravdivým zjednodušením je třeba důrazně varovat). V češtině se chybně mluví o složkách nejistot typu A a složkách nejistot typu B. Správně by se mělo mluvit o složkách nejistot, které jsou hodnoceny nebo vyhodnocovány

postupem A, a o složkách nejistot, které jsou hodnoceny nebo vyhodnocovány postupem B. Někdy se mluví o tom, že složky nejistot hodnocené postupem A jsou ty složky nejistot, které pocházejí z místních zdrojů nejistot měření, které přímo souvisejí s realizací daného měření, zatímco složky nejistot hodnocené postupem B jsou ty složky nejistot, které pocházejí z jiných, zpravidla externích zdrojů, a nejsou tudíž zapříčiněny přímo realizací vlastního měření. Ani to není zcela přesné. Nejbližší pravdě je to, že složky nejistot vyhodnocované způsobem B jsou ty složky nejistot, které vznikají v důsledku náhodných chyb nebo odchylek, o kterých nejsme schopni získat přímé informace na základě místní realizace daného měření nebo které vznikají na základě náhodných chyb a odchylek v rámci jiných procesů měření, které ovšem mají s daným procesem měření nějakou souvislost (klasickým takovým případem je např. nejistota v důsledku kalibrace používaného měřidla).

4.3.1 Stručně o složkách nejistot vyhodnocovaných postupem A

Složky nejistoty vyhodnocované postupem A pokrývají jak náhodné chyby, tak i odchylky (systematické chyby). Postup vyhodnocení A je založen na statistické analýze dat. Základní je to, že vliv náhodných chyb nemůže být nikdy korigován, zatímco vliv odchylek (systematických chyb) korigován být může. Přístup v GUM vychází z toho, že veškeré odchylky (systematické chyby) mohou být korigovány a že jedinou složkou nejistoty odvozenou od těchto odchylek (systematických chyb) je tedy nejistota spojená s výše zmíněnou korekcí.

4.3.1.1 Složky nejistot vznikajících na základě náhodných chyb, které jsou vyhodnocovány postupem A

U složek nejistot vyhodnocovaných postupem A máme celkem tři základní kategorie těchto nejistot, které souvisí s náhodnými chybami:

1. nejistoty, které se projevují náhodně v průběhu času a nejsou závislé na čase (sem spadají například chyby vznikající za podmínek opakovatelnosti a chyby vznikající za podmínek reprodukovatelnosti),
2. nejistoty způsobené specifickými podmínkami měření,
3. nejistoty způsobené náhodnou heterogenitou materiálu.

Měření je dále prováděno s mnoha různými obměnami v uspořádání procesu měření, které zahrnují změny v sestavě používaných měřidel, změny osob, které měření provádějí, uspořádání měřidel, vliv prostředí atd.

Kalibrace měřidel a s nimi spojené nejistoty sem zpravidla nespádají; ty jsou vyhodnocovány postupem B, ale u měřidel nekalibrovaných lze uvažovat o tom, že jejich příslušný vliv bude předmětem vyhodnocení odpovídající složky nejistoty typu A.

4.3.1.2 Složky nejistot vznikajících na základě odchylek (systematických chyb), které jsou vyhodnocovány postupem A

Zdroje odchylek (systematických chyb) spadajících do této kategorie se zpravidla týkají specifické konfigurace provedení konkrétního měření nebo realizace konkrétního procesu měření. Pro vyšetření složek nejistot vznikajících na základě odchylek (systematických chyb), které jsou vyhodnocovány postupem A, existuje mnoho různých postupů a přístupů. Zpravidla je nutno vykonat sběr příslušných podkladových údajů, provést zkoušky týkající se chování dané odchylky (systematické chyby), odhadnout v závislosti na hodnotě měřené veličiny hodnotu této odchylky (systematické chyby), vyhodnotit nejistoty spojené s tímto odhadem, který bude potom použit jako korekce výsledku měření. Je také vždy dobře stanovit, čím je tato odchylka způsobována a co její případnou velikost ovlivňuje. Existují ale také odchylky (systematické chyby), které nelze korigovat (značná proměnnost odchylky nebo systematické chyby, která má náhodný charakter). Potom je nutné nejistotu spojenou s takovou odchylkou vyhodnocovat jako směrodatnou odchylku průměrné hodnoty, kterou taková odchylka má, nebo v případě, že nelze získat (popř. je obtížné získat) řadu pozorování chování odchylky (systematické chyby), postupovat tak, že se využije informace o maximální velikosti, které taková odchylka (systematická chyba) může dosahovat, a z předpokládaného rozdělení pravděpodobnosti se stanoví standardní nejistota spojená s touto odchylkou (systematickou chybou) – zde však již ale využijeme de facto přístup B k vyhodnocení této složky nejistoty měření. U nejistot vyhodnocovaných postupem A se předpokládá vždy normální rozdělení.

4.3.2 Stručně o složkách nejistot vyhodnocovaných postupem B

Tento způsob vyhodnocení složek nejistot měření lze opět aplikovat jak na složky nejistoty měření, které jsou náhodného charakteru, tak i na složky nejistoty měření vznikající na bázi odchylek (systematických chyb). Opět je třeba mít na paměti, že nejistoty vznikající náhodnými chybami nemohou být korigovány, zatímco odchylky (systematické chyby) zpravidla ano. Neobvyklejšími zdroji nejistot, které jsou vyhodnocovány přístupem B – tedy metodami hodnocení nejistot jinými, než je statistická analýza řady měření, jsou:

1. měřidla a etalony kalibrované v jiných laboratořích,
2. fyzikální konstanty používané při výpočtu výsledné uváděné hodnoty,
3. vlivy prostředí, které nemohou být statisticky vyšetřeny,
4. možné odlišnosti v uspořádání měřidel a realizaci měřicího procesu,
5. nedostatek rozlišovací schopnosti měřidla.

Z kalibračních listů/kalibračních certifikátů, publikovaných zpráv o nejistotách spojených s fyzikálními konstantami atd. je pak možno zpravidla transparentně a bez problému získat relevantní informace o příslušných nejistotách, kde jediným problémem zpravidla bývá přepočítání pomocí uvedeného koeficientu pokrytí zpravidla uváděné rozšířené nejistoty na standardní nejistotu.

Jinou věcí ovšem je, že existují zdroje nejistot měření, které se týkají příslušného procesu měření a kde není možno z různých důvodů provést adekvátní statistickou analýzu dat tak, aby složky nejistoty měření způsobené těmito zdroji mohly být vyhodnoceny postupem A. Zde je často používanou technikou technika odhadu té nejhorší situace, která může nejistotu měření takovým zdrojem ovlivnit. Vychází se zde ze zkušenosti, vědeckého a expertního posouzení a musíme se zpravidla opírat o velmi skromná podkladová data. Směrodatná odchylka, předpokládající oboustranný vliv, je pak počítána zpravidla na základě fyzikálně zdůvodněného rovnoměrného, trojúhelníkového, lichoběžníkového nebo normálního rozdělení pravděpodobnosti.

4.4 Stanovení kombinované standardní nejistoty měření, zákon šíření nejistot

Opět je třeba zdůraznit, že účelem tohoto sborníku není suplovat GUM, popřípadě jiné dokumenty uvedené v kapitole 3. Účelem tohoto sborníku je diskutovat a upozornit na některá úskalí při odhadu a stanovení nejistoty měření. Způsob stanovení kombinované standardní nejistoty z jednotlivých dílčích nejistot, a obecný vztah pro její stanovení, který je dán zákonem šíření nejistot jsou transparentně a dostatečně popsány v kapitole 6 dokumentu GUM. Je třeba však zdůraznit některá hlediska, která mohou vést k fatálním chybám při stanovování nejistot měření.

Především je třeba vědět, že vztah mezi výstupní veličinou, tedy výsledkem měření, a měřenými nebo odhadovanými veličinami vstupními je dán matematickým modelem vyjádřeným více či méně složitým vztahem, který má vzhledem ke sledované veličině explicitní, ale – a to je častější případ – implicitní tvar. Implicitní vztah, který nelze převést na vztah explicitní, je pak nutno řešit numericky. Díky tomu, že stanovení derivace funkce (stejně jako parciální derivace funkce) je na rozdíl od stanovení neurčitého integrálu funkce vždy možné, můžeme využít explicitního tvaru stanovení, který je v jednodušším případě daný více či méně složitým vztahem o šíření nejistot. Důsledně je však nutné vyšetřit či přezkoumat vzájemnou závislost některých zdrojů nejistot, protože – pokud se tam takové vzájemné závislosti vyskytnou – pak budeme muset použít zákon o šíření nejistot, kde se budou u vzájemně závislých složek nejistot objevovat nenulové korelační koeficienty. Zanedbání této skutečnosti a chybný předpoklad o vzájemné nezávislosti jednotlivých složek nejistot měření může vést k tomu, že nejistota měření bude stanovena špatně a nebude odpovídat realitě.

Dalším základním problémem bývá zanedbávání některých složek nejistot měření. V literatuře se uvádí, že složky nejistot měření, které jsou menší než např. jedna pětina největší ze složek nejistoty měření, mohou být zanedbány. Na každý pád by ale nejdříve měly být vyšetřeny příslušné koeficienty citlivosti, protože právě koeficienty citlivosti (jsou dány právě oněmi výše zmíněnými parciálními derivacemi funkce popisující model měření) mohou způsobit, že z malých složek se stanou velké a naopak. Zanedbávat by se tedy nemělo z pohledu stanovených nejistot měření do modelu měření

vstupujících veličin, ale až na základě přepočtu těchto vlivů vstupních veličin na veličinu výslednou.

4.5 Stanovení rozšířené nejistoty měření

Až doposud jsme vlastně mlčky předpokládali, že zdroje složek nejistoty měření, které jsou vzájemně nezávislé a mají náhodný charakter, se ve svém součtu – výsledném účinku – řídí normálním rozdělením. To nemusí být pravdou speciálně tam, kde existuje pouze velmi nízký počet měřených hodnot, popř. tam, kde jsou dobré důvody se domnívat, že zdroj nejistoty měření se řídí jiným rozdělením pravděpodobnosti. U složek nejistot vyhodnocovaných postupem B jde ve většině případů o použití jiného typu rozdělení pravděpodobnosti, než je normální rozdělení. Většinou se zde vychází z rozdělení rovnoměrného nebo z rozdělení trojúhelníkového. Centrální limitní věta je na výsledné rozdělení kombinované nejistoty měření, která je stanovena na základě zákona o šíření nejistot z jednotlivých složek nejistot měření, někdy aplikována slepě a neodpovídajícím způsobem. Ve většině případů se prostě a priori předpokládá, že výsledek v podobě kombinované nejistoty měření má normální rozdělení, což nemusí být pravda. Zejména to neplatí, pokud vychází kombinovaná nejistota ze statistických pozorování s relativně nízkým počtem stupňů volnosti (zpravidla se uvádí méně než 6). Zde je pak nutno postupovat v souladu s návodem uvedeným v příloze G dokumentu GUM. Obecně platí, že při splnění předpokladu o normálním rozdělení je nejčastěji používaná hodnota koeficientu rozšíření 2 a interval vzniklý na základě takto rozšířené nejistoty měření znamená, že pravá hodnota výsledku měření leží v tomto intervalu s pravděpodobností přibližně 95 %. Vazba mezi koeficientem rozšíření k a pravděpodobností $(1-\alpha)$ pokrytí pravé hodnoty sledované veličiny je odvozena z vlastností normálního rozdělení se známými parametry a představuje jeho $(1-\alpha)$ -kvantil. Poněvadž v praxi nejsou uvedené parametry rozdělení běžně známy a odhadují se ze získaných výsledků měření, mělo by se v souladu s teorií při konstrukci příslušného intervalu nejistoty místo s kvantilem normálního rozdělení pracovat s kvantilem t -rozdělení, jehož hodnota však závisí na počtu stupňů volnosti $v = n-1$, kde n je počet nezávislých výsledků měření, pomocí nichž stanovujeme aritmetický průměr a výběrovou směrodatnou odchyl-

ku. Tedy koeficient $k = 2$ odpovídá pravděpodobnosti 95 % pouze velmi přibližně.

4.6 Správnost, přesnost a související termíny

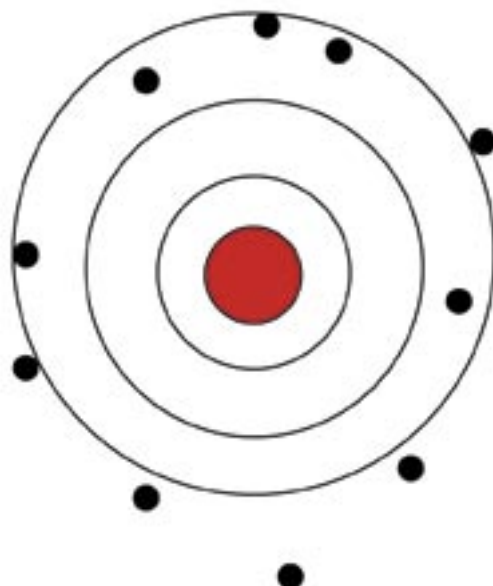
V neposlední řadě je potřebné se podrobněji ještě pozastavit u termínů, které jsou z pohledu měření velmi důležité a u kterých existují do dnešního dne určité nejednoznačnosti, byť, jak již bylo zmíněno, existuje stanovisko Terminologické komise ÚNMZ, které zde budeme respektovat. Ani toto stanovisko však tuto věc zcela neřeší.

Jedním z možných řešení této situace bude, pokud se normy přestanou překládat (nakonec tento postup je zcela běžný v severských státech, v Nizozemí nebo např. i v Maďarsku) a budou mít jen úvodní informační stránku v češtině. Tento přístup je však třeba pečlivě zvážit, protože to bude znamenat ochuzení češtiny jako takové a současně tím dojde ke vzniku krajových terminologií, které nebudou jinde uznávány. Budeme se pak muset zřejmě smířit s existencí více termínů pro stejný pojem, se zvýšeným výskytem cizích slov, u kterých skloňování bude zřejmě problém a s různými výrazy typu „štyft na trýbu“. Bude to též problém z hlediska výuky atd.

A nyní k některým definicím a k výkladu pojmů (bude se tu přitom vycházet, jak již bylo řečeno, z doporučení Terminologické komise ÚNMZ). Pro vysvětlení toho, co je správné a co přesné, se používá analogie se střelbou na terč a často se to zobrazuje schematicky následovným způsobem, který je ovšem chybný:

(na následující straně)

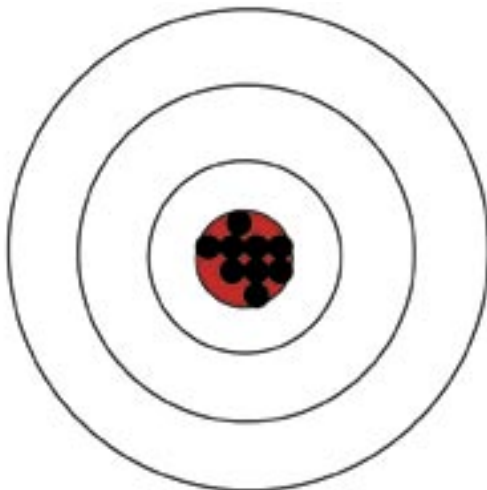
1. Střelba je v zásadě správná, ale střelba není přesná.



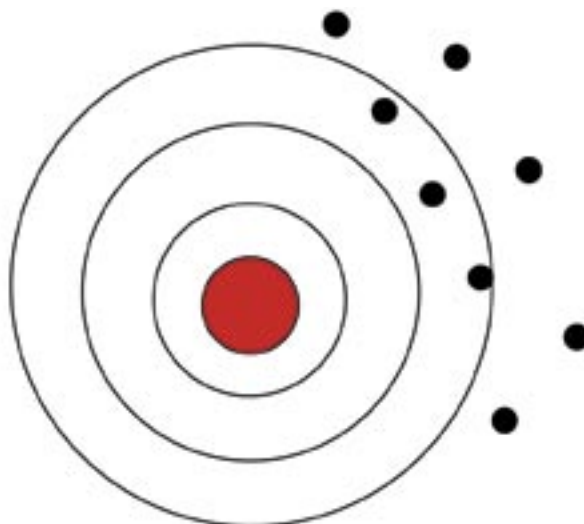
2. Střelba je nesprávná, ale střelba je přesná.



3. Střelba je správná a střelba je přesná.



4. Střelba je nesprávná a střelba je nepřesná.



Zpravidla se pak uvádí, že z těchto obrázků je zřejmé, co se míní přesností a správností. Ale ono to tak není. Podívejme se pořádně na následující definice:

1. Správnost (anglicky Accuracy)

Těsnost souhlasu mezi výsledkem měření a pravou hodnotou (konvenční pravou hodnotou) měřené veličiny.

(The closeness of agreement between a test result and the accepted reference value.)

Takto pojatá správnost ale není onou správností popisovanou na výše zmíněných obrázcích. Na výše zmíněných obrázcích se totiž nejedná o správnost, ale o pravdivost (a termín „správnost“ je tam nutno také za termín „pravdivost“ zaměnit) – viz následující definice (mimočodem zde tedy narážíme na velmi častý omyl, který je součástí mnoha prezentací a mnoha přednášek). Zde definovaná správnost – a nutno zdůraznit, že takto by měla být správnost vždy pojímána a že pak lze plně souhlasit s tím, aby např. třídy přesnosti byly pojmenovány jako třídy správnosti – pak kombinuje přesnost a pravdivost.

2. Pravdivost (anglicky Trueness)

Těsnost souhlasu mezi průměrnou hodnotou získanou z velkého počtu výsledků měření a dohodnutou referenční hodnotou (pravou hodnotou, konvenční pravou hodnotou).

(The closeness of agreement between the average value obtained from a large series of test results and an accepted reference value)

3. Skutečná (pravá) hodnota (anglicky True value)

Hodnota charakterizující dokonale definovanou veličinu za podmínek, při nichž je veličina uvažována.

(The value which characterizes a quantity perfectly defined in the conditions which exist when that quantity is considered)

4. Přesnost (anglicky Precision)

Těsnost souhlasu mezi nezávislými výsledky zkoušky získanými za předem specifikovaných podmínek.

(The closeness of agreement between independent test results obtained under stipulated conditions.)

Přesnost závisí pouze na parametrech rozdělení náhodných chyb a nemá žádný vztah k pravé hodnotě.

Pokusme se tedy o závěrečné shrnutí této důležité problematiky. Nakonec každý se může na internetu přesvědčit, jak nejednotný je přístup k výkladu této problematiky, a to nejenom v ČR.

Správnost se vztahuje vždy ke vztahu i jednotlivého měření k pravé hodnotě veličiny (měření). Pokud hodiny odvozující čas z polohy slunce odbijí 12 hodin v okamžiku, kdy je slunce v nadhlavníku, pak říkáme, že hodiny jdou správně (je ale fakt, že v češtině je zvykem v této souvislosti používat v hovorové řeči spíše slůvko přesně). Nelze smysluplně hovořit o správnosti měření, pokud není pravá hodnota měření známa nebo poznatelná. Bývá často tvrzeno, že správnost se vztahuje k měření a neříká nic např. o kvalitě měřidla. Výše jsme si však ukázali, že správnost zahrnuje de facto přesnost a pravdivost. To znamená, že tvrzení, že správnost neříká nic např. o kvalitě měřidla, není tak docela pravdivé. Skutečnost je taková, že o kvalitě měřidla neříká nic pravdivost. Na druhé straně měřidlo může být skutečně velmi kvalitní, a přitom výsledky jeho měření mohou být velmi vzdáleny pravé hodnotě (je třeba zavést korekci).

Přesnost souvisí s opakovatelností měření a k jejímu vyhodnocení nepotřebujeme vůbec znát pravou hodnotu měření.

Chyba měření je rozdíl mezi hodnotou měření a pravou hodnotou popř. konvenčně pravou hodnotou. Je zajímavé, že chyba měření nemá žádný význam z pohledu diskuse o prvotních experimentálních výsledcích měření. U správnosti musíme znát pravou hodnotu, abychom mohli mluvit o chybě. Jenže věda je o něčem jiném. Hlavním smyslem vědy je objevovat nové skutečnosti. A jsou-li objevené skutečnosti skutečně nové, pak zpravidla pravou hodnotu veličiny předem neznáme. A tak není možno diskutovat o chybě. Samozřejmě známe různé systematické chyby, které se projevují, opakovaným měřením můžeme stanovit statistickou chybu atd., ale celkovou chybu prostě v tomto případě neznáme.

Na závěr pouze jedna poznámka. V hovorové češtině a v tom, jak je čeština používána, má slovo „přesnost“ naprosto jiný význam než ten, který je uveden u termínu „přesnost“ výše. Kryje se totiž s obsahem, který výše přiřazujeme termínu „správnost“. Neříkáme totiž, pokud po někom chceme, aby někam přišel pokud možno např. v 6 hodin ráno, že má přijít „správně v šest“, ale říkáme, že má přijít „přesně v šest“ (a v žádném případě tu nepočítáme s tím,

že ten, kdo má přijít přesně v 6 hodin ráno, trpí, co se dostupnosti údajů o čase týká, nějakou systematickou chybou). Říkáme sice „to říkáš správně“, ale když řekneme „to říkáš přesně“, tak to má nesporně větší sílu atd. Je tedy otázkou, kdo má vlastně pravdu a zda to nakonec není správně (nebo možná dokonce spíše přesně?) v současné platné verzi ČSN ISO 5725-1. Na každý pád tu máme k jedné množině anglických termínů dvě odlišné množiny českých termínů, které jsou obě funkční a je na čase skutečně a s plnou odpovědností rozhodnout, co se bude v praxi používat.

5. NEJISTOTA MĚŘENÍ, NEJLEPŠÍ MĚŘICÍ SCHOPNOST (BMC), KALIBRAČNÍ MĚŘICÍ SCHOPNOST (CMC), POROVNATELNOST VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ PROVÁDĚNÝCH METROLOGICKÝMI LABORATOŘEMI

Existují dva zajímavé pojmy, které jsou používány k pojmenování jistého druhu nejistoty měření skládajícího se ze specifických složek nejistot měření. Jedná se o „nejlepší měřicí schopnost“ (anglicky „best measurement capability“ – dále jen BMC) a o „kalibrační měřicí schopnost“ anglicky „calibration and measurement capability“ – dále jen CMC). Uvedme si definice BMC a CMC a provedme jejich porovnání:

BMC – nejlepší měřicí schopnost

BMC je nejmenší nejistota měření, které může v rámci akreditace laboratoř dosahovat při provádění více či méně rutinních kalibrací téměř ideálních měřicích etalonů s cílem definovat, realizovat, uchovat či reprodukovat jednu či více jednotek dané veličiny nebo které může dosahovat při více či méně rutinně prováděných kalibracích téměř ideálních měřicích zařízení určených pro měření dané veličiny (definice převzata z EA 4/02 – překlad ČIA).

CMC – kalibrační a měřicí schopnost

CMC je nejvyšší úroveň kalibrace nebo měření běžně nabízených zákazníkům odpovídající pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %. Někdy se pro tento pojem používá termín nejlepší měřicí schopnost (převzato překladem z textu CIPM MRA).

Z uvedeného je zřejmé, že BMC a CMC (v dalším textu bude používán jen odkaz na CMC) je jedno a totéž a že zde máme pro jeden pojem dva názvy a dvě definice – byť je pravdou, že druhá definice se odvolává na první definici, která je výstižnější. Je také zřejmá další velmi podstatná věc. Tento zvláštní druh specificky vymezené nejistoty se týká kalibrací a úkonů, které kalibraci zahrnují, popř. – lépe řečeno – které jsou na kalibraci zpravidla založeny (máme teď na mysli např. následné ověřování měřidel spadající do oblasti legální metrologie). Netýká se tedy obecně měření a zkoušení, byť

i zde byly v minulosti zaznamenány pokusy něco podobného zavést. Jedná se o konvenčně dohodnuté stanovení nejistoty měření laboratoře, které zahrnuje pouze stanovené složky nejistoty, tak aby tyto hodnoty byly vzájemně mezi laboratořemi poskytujícími stejné služby porovnatelné a aby bylo na první pohled jednoznačně patrné, jaká je úroveň příslušného metrologického pracoviště. Je zřejmé, že metrologické pracoviště vybavené lépe bude vykazovat u srovnatelných výkonů lepší (tedy v daném případě nižší) hodnoty CMC než metrologické pracoviště vybavené hůře. To znamená, že CMC je také informací, která má být jednoznačně přístupná zákazníkům příslušných metrologických pracovišť. Tato zásada je dodržována zejména národními metrologickými instituty (o této skutečnosti je možné se např. přesvědčit na stránkách Českého metrologického institutu) a v případě akreditovaných kalibračních laboratoří, kde je CMC (označovaná v tomto případě ovšem jako BMC) v přílohách osvědčení o akreditaci, které specifikují rozsah akreditovaných služeb poskytovaných kalibračními laboratořemi.

Ještě předtím, než bude uvedeno odvolání se na zdroj informací uvádějící, co vlastně CMC je, je nutno se stručně zmínit o jedné velmi důležité věci, která plyne z CIPM MRA (Úmluva o vzájemném uznávání Mezinárodního výboru pro váhy a míry). Zde byla zavedena povinnost národních metrologických institutů CMC uvádět a účastnit se jejich pravidelného přezkoumávání a následného schvalování. Toto přezkoumávání je prováděno prostřednictvím špičkových odborníků pro dané oblasti měření působících v rámci tzv. regionálních metrologických organizací (v Evropě je to např. Euromet). Výsledky klíčových porovnání organizovaných CIPM a regionálními metrologickými organizacemi (dále jen RMO) jsou jedním z nejdůležitějších zdrojů podkladů pro vyhlášenou odbornou způsobilost národních metrologických institutů a jim vyhlášených CMC. Pro všechny zainteresované strany je velmi důležité vědět, že schválené a přezkoumané CMC jsou zveřejněny v příloze C a výsledky mezilaboratorních porovnání v příloze B výše zmíněného CIPM MRA a že jsou veřejně a zdarma přístupné na webové stránce BIPM <http://kcdb.bipm.org>. K tomu je třeba dodat, že předpokladem pro takovéto zveřejnění CMC je existence plně zavedeného systému kvality, který je přesně ve shodě s požadavky a kritérii mezinárodní normy ISO/IEC 17025. Důležitost in-

formací obsažených ve výše zmíněné Databázi klíčových porovnání (dále jen KCDB) byla potvrzena též organizací ILAC (Mezinárodní organizace pro spolupráci v oblasti akreditace laboratoří – dále jen ILAC), a to je také zdůrazněno ve společných prohlášeních ILAC a BIPM. V rámci spolupráce mezi ILAC a BIPM jde o to, že údaje obsažené v KCDB lze využít též v rámci programů zkoušení způsobilosti a při jejich organizaci. Důležitým závěrem jednání mezi ILAC a CIPM je důsledná snaha o odstranění rozdílů v interpretacích mezi BMC a CMC. Je také třeba vědět, že pro národní metrologické instituty platí, že pokud provádějí kalibrace, u kterých uvádějí nejistoty měření, menší než jsou jimi samými deklarované CMC, pak takové kalibrační listy nebo jiné certifikáty sice možné jsou (třeba příslušný metrologický institut vyvinul speciální zařízení nebo novou metodu nebo používá speciální zařízení, které je vývoji atd.), ale netýká se jich výše zmíněná CIPM MRA a samozřejmě také nemohou obsahovat příslušná prohlášení o vzájemném uznávání. Tím spíše ale musí být obdobný přístup zaujat v případě akreditovaných kalibračních laboratoří a je třeba vědět, že kalibrační list vydaný akreditovanou kalibrační laboratoří, který uvádí příslušnou nejistotu měření menší, než je odpovídající BMC uvedená v příloze osvědčení o akreditaci, sice vydán být může, ale není pokryt akreditací, a to v něm musí být výslovně uvedeno, respektive nesmí se na akreditaci odvolávat a zákazník má být na tuto skutečnost výslovně upozorněn. ILAC také bude podporovat, aby se i v akreditaci začal používat na místo termínu BMC termín CMC. Dále je třeba v případě, že budou příslušné laboratoře národních metrologických institutů laboratořemi akreditovanými, požadovat, aby příslušné CMC byly přezkoumány a schváleny v rámci příslušné RMO.

Ještě stručně k CIPM MRA. Tato úmluva byla uzavřena v roce 1999 (tehdy byla podepsána 38 řediteli národních metrologických institutů a dvou mezinárodních organizací). Z jejího podpisu plynou pro zúčastněné následující povinnosti:

1. účastnit se příslušných porovnání, tj. klíčových a doplňkových porovnání,
2. vyhledávat a uvádět příslušná CMC,
3. uplatňovat a být schopen doložit existenci odpovídajícího systému kvality.

U CMC platí, že – po jejich interním přezkoumání signatářem CIPM MRA – jsou tyto CMC všechny vzájemně přezkoumány ostatními signatáři v rámci příslušné RMO, následně jsou prováděna též výběrová přezkoumání CMC ze strany ostatních RMO. Po této proceduře jsou stanovené CMC předány k přezkoumání do JRCB (to je Společný výbor RMO a BIPM – dále jen JRCB). Následně jsou pak příslušným způsobem zveřejněny a zpřístupněny v KCDB na webové stránce BIPM. Tyto CMC jsou zde popsány a uváděny běžným způsobem, který byl dohodnut na mezinárodní úrovni. CMC jsou stanoveny pro následujících devět oblastí:

1. akustika, ultrazvuk a vibrace,
2. látkové množství,
3. elektřina a magnetismus,
4. ionizující záření,
5. délka,
6. hmotnost a související veličiny (včetně průtoku),
7. fotometrie a radiometrie,
8. termometrie,
9. čas a frekvence.

Jsou prováděna různá porovnání a srovnání uváděných CMC. Příkladem výsledků takového porovnání je např. dokument „International Benchmarking of UK Calibration and Measurement Capability (CMCs)” – NPL Report INTOFF 1. Tento dokument je možno získat na internetu.

Na závěr pouze ve stručnosti k CMC v kalibračních laboratořích. Základním dokumentem, který obsahuje snad nejkomplexnější vysvětlení toho, co CMC (v daném případě se ale mluví o BMC) je dokument EA 4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration (vydán česky v ČIA jako EA4/02 – Vyjadřování nejistot měření při kalibracích – je možno ho zdarma stáhnout z webových stránek ČIA). Je třeba si uvědomit, že CMC je jedním z velmi důležitých parametrů, který musí být povinně u akreditovaných kalibračních laboratoří uváděn v příloze osvědčení o akreditaci, kde je uváděn rozsah akreditace. CMC je velmi významnou informací pro zákazníky kalibračních laboratoří, protože charakterizuje kalibrační schopnost laboratoře pro jednotlivé jí nabízené kalibrační výkony. Stanovení CMC má být věnována velká pozornost a pro její posouzení je nutno využívat skutečně zkušené metrology, kteří

mají navíc možnost porovnání tohoto údaje s jinými kalibračními laboratořemi a určit tak, zda jsou CMC příslušné kalibrační laboratoře stanoveny objektivně a realisticky. Nemá smysl znovu opisovat to, co je dostatečně popsáno ve výše uvedeném dokumentu. Je však vhodné zdůraznit, že jsou v něm vysvětlena některá slovní spojení uváděná ve výše uvedené definici BMC. Je tedy možné se dozvědět, co se míní např. „více či méně rutinními kalibracemi“, nebo co se míní obratem „téměř ideální“ atd.

6. PROBLEMATIKA VYJADŘOVÁNÍ NEJISTOT MĚŘENÍ, UVÁDĚNÍ NEJISTOT MĚŘENÍ A SPRÁVNÉHO ODKAZOVÁNÍ SE NA NĚ

6.1 Úvod

Jádrem této kapitoly jsou především otázky spojené se správným způsobem uvádění výsledků měření, zkoušení nebo kalibrací (v dalším textu bude používán souhrnný termín měření) ve výstupních dokumentech laboratoří (tyto výstupní dokumenty jsou často nazývány protokoly o zkouškách, kalibrační listy, ale jejich název může být i jiný – např. zkušební certifikáty, certifikát o přezkoušení, kalibrační certifikáty atd. a může se jednat též o lékařské nálezy, výsledky vyšetření, dokumentaci pacientů aj.), jakož i v ostatních oficiálně vydávaných dokumentech, ale též v informacích vydávaných různým zákazníkům, zájemcům a zainteresovaným stranám, v reklamních a informačních brožurkách, v tisku a ostatních hromadných informačních médiích atd.

Informace obsažené v této kapitole jsou tedy použitelné obecně, a to všude tam, kde je poskytována komplexní informace o výsledcích měření zkoušení nebo nějakého šetření nebo vyšetření. Vysvětlení a přístupy obsažené v tomto příspěvku jsou použitelné s velkou mírou obecnosti. Týkají se počtu platných číslic, výpočtů prováděných na základě hodnot zjištěných měření nebo i pozorování, popř. obecně nějakým šetřením, a v neposlední řadě zaokrouhlováním a úpravou výstupních informací, aby byly ve shodě s obecně platnými přístupy.

O terminologii související s nejistotami měření a o postupech odhadu, stanovení a uvádění nejistot měření bylo pojednáno v předchozích kapitolách tohoto sborníku, které se zabývají odkazy na zdroje terminologie a zdroje komplexních informací o nejistotách. Další odkazy na vhodnou literaturu je možno nalézt v bibliografii tohoto sborníku a dalším velkým zdrojem informací je samozřejmě internet.

6.2 Uvádění výsledků měření a jejich nejistot ve výstupních dokumentech kalibračních laboratoří

Nejdříve je nutné se chvíli věnovat výkladu některých základní problémových okruhů, které s touto problematikou bezprostředně souvisí a které zásadním způsobem správnost uvádění výsledků měření a jejich nejistot ovlivňují. Jedná se o uvedení základních pravidel týkajících se počtu platných číslic, zaokrouhlování čísel, pravidel základních aritmetických operací prováděných nad naměřenými hodnotami při jejich zpracování a v neposlední řadě pravidel pro provádění aritmetických operací nad výsledky měření, které zahrnují nejistoty měření. Tyto problémové okruhy se jeví na první pohled jako záležitosti triviálního charakteru se všeobecně známými pravidly, ale lze snadno dokázat, že právě zde dochází často k chybám, které mohou vlastní správné uvádění výsledků měření znehodnotit a v důsledku toho též zpochybnit i výsledky celé práce související s měřením.

- **Pravidla pro stanovení počtu platných číslic výsledku měření**

Pro stanovení počtu platných číslic v čísle je z matematického hlediska důležité, zda se jedná o číslo s desetinnou čárkou či nikoli. Obecný postup stanovení počtu platných číslic v čísle, které má desetinnou čárku, je následující:

1. poté, co jsme se ujistili, že číslo má desetinnou čárku, začneme se stanovením počtu platných číslic zleva příslušné číselné hodnoty a budeme postupovat tak dlouho, dokud nenarazíme na první nenulovou číslici,
2. takto nalezenou nenulovou číslici a jakékoli číslice vpravo od ní považujeme za číslice platné.

Poznámka: Nuly, které jsou na konci čísla a nuly ležící za nebo před desetinnou čárkou jsou platnými číslicemi.

Příklady (stanovení kreatininu v krevním séru a v moči):

Výsledek stanovení $4,030 \mu\text{mol.l}^{-1}$ kreatininu v krevním séru má **4 platné číslice**.

Výsledek stanovení $4\ 300, \mu\text{mol.l}^{-1}$ kreatininu v moči má také **4 platné číslice** (tento zápis se ovšem vyskytuje jen zřídka).

Výsledek stanovení $4\ 300 \mu\text{mol.l}^{-1}$ kreatininu v moči má **jen 2 platné číslice** – u čísel, která jsou uváděna bez desetinné čár-

ky, nejsou nuly, které se vyskytují na okraji čísla ať již zleva, nebo zprava, považovány za platné číslice!

Uvádění desetinné čárky tedy celou věc vyjasňuje.

Pokusme se nyní výše zmíněné poměrně jednoduché pravidlo pro stanovování počtu platných číslic v daném čísle precizovat pomocí série dílčích pravidel a pomocí sady doplňkových ilustrativních příkladů. Pomůže to k lepšímu pochopení této sice jednoduché, leč velmi důležité záležitosti.

a) Pravidlo 1: nenulové číslice jsou vždy číslicemi platnými, a to bez ohledu na to, zda číslo obsahuje nebo neobsahuje desetinnou čárku.

Příklady: číslo 45 má dvě platné číslice; číslo 1,37 má tři platné číslice;
číslo 4,5 má dvě platné číslice; číslo 137 má tři platné číslice.

b) Pravidlo 2: nuly nacházející se v čísle mezi nenulovými číslicemi jsou vždy číslicemi platnými.

Příklad: 1 001 má čtyři platné číslice; 1,0005 má pět platných číslic.

c) Pravidlo 3 – nuly za poslední platnou nenulovou číslicí jsou za předpokladu, že má číslo desetinnou čárku, číslicemi platnými.

Příklady: 0,00400 má tři platné číslice (číslici 4 a dvě nulové číslice za číslicí 4);
1 000, má čtyři platné číslice.

d) Pravidlo 4 – nuly za poslední platnou nenulovou číslicí nejsou číslicemi platnými za předpokladu, že číslo nemá desetinnou čárku.

Příklady: 400 má jednu platnou číslici 1 (jedná se o číslici 4);
12 000 má dvě platné číslice (jedná se o číslice 1 a 2).

Poznámka: Je doporučeno uvádět číselné hodnoty ve formě tzv. vědeckého zápisu čísel.

Příklad: Použijeme-li tzv. vědecký zápis čísla, pak je možno číslo 1000 zapsat jako 1×10^3 (1 platná číslice) nebo jako 1,0 a číslo 1 000 lze zapsat jako $1,0 \times 10^3$ (4 platné číslice).

Může se zdát, že při uvedení desetinné čárky zachráníme řadu platných číslic. Jenže otázkou je, zda bylo skutečně dobře je „zachra-

ňovat". Představme si následující situaci. Máme číslo 51 700 000,0; toto číslo má 9 platných číslic. Víme však, že přesně je stanoven řád milionů a statisíce již byly stanoveny odhadem. Výsledkem zaokrouhlení by pak nemělo být číslo 52 000 000,0 ale číslo 52 000 000; toto číslo bez desetinné čárky má – marná sláva, ale realita je taková – jen dvě skutečně platné číslice. A v případě čísla 2,453 (má čtyři platné číslice), když číslice 3 byla odhadnuta a když jsme se rozhodli provést zaokrouhlení na setiny, získáme jako výsledek číslo 2,45 se třemi platnými číslicemi a asi toto číslo nebudeme uvádět ve tvaru 2,450 – tedy se čtyřmi platnými číslicemi.

- **Pravidla pro zaokrouhlování výsledků měření**

Pro zaokrouhlování čísel používáme následující pravidla (u výsledků měření totiž zpravidla zaokrouhlujeme na poslední číslici, kterou chceme mít platnou, a pro takové zaokrouhlování respektujeme informace související s přesností měření – nejde tedy o nějakou libovůli):

1. Je-li číslice, která má být odstraněna v důsledku zaokrouhlování, větší než 5, pak bude číslice jí bezprostředně předcházející zvětšena o 1.

Příklad (stanovení glukózy v krevním séru):

Výsledek měření je 5,379 mmol.l⁻¹ glukózy a číselná hodnota se zaokrouhlí na 5,38 (pokud jsou ovšem tři platné číslice únosné, a to v případě stanovení glukózy v krevní séru jistě jsou) anebo i na 5,4 – pokud jsou potřebné jen dvě platné číslice, ale to už je metrologicky i klinicky méně spolehlivý závěr.

2. Je-li číslice, která má být odstraněna v důsledku zaokrouhlování, menší než 5, pak zůstane číslice jí bezprostředně předcházející nezměněna.

Příklad (stanovení fibrinogenu v krvi):

Výsledek měření je 2,443 g.l⁻¹ fibrinogenu a číselná hodnota se zaokrouhlí na 2,44 (pokud jsou ovšem tři platné číslice únosné, a to v případě stanovení fibrinogenu v plné krvi jistě jsou) anebo i na 2,4 – pokud jsou potřebné jen dvě platné číslice.

3. Je-li číslice, která je zaokrouhlována, rovna právě 5, pak se jí bezprostředně předcházející číslice zvýší o 1, pokud je lichá, a zůstane nezměněna, pokud je sudá. To platí, pokud tato číslice 5 je poslední platnou číslicí, nebo pokud dalšími platnými číslicemi jsou již jen nuly.

Příklad (stanovení bilirubinu v krevním séru):

Výsledek měření $17,75 \mu\text{mol.l}^{-1}$ bilirubinu se zaokrouhlí na 17,8, ale výsledek měření $17,65 \mu\text{mol.l}^{-1}$ bilirubinu, tedy číslo 17,65 se zaokrouhlí na 17,6.

Je-li číslice 5 následována pouze nulami, pak se dodrží zásady formulované v bodě 3. Je-li číslice 5 následována nenulovými číslicemi, pak se použije zásad uvedených v bodě 1. Číselná hodnota 17,6500 se zaokrouhlí na 17,6, ale číslo 17,6513 se zaokrouhlí na 17,7!

Při několikasupňových výpočtech se vždy ponechá o dvě nebo více přídavných platných číslic více, než je potřeba, a podle výše uvedených pravidel se na potřebnou platnou číslici zaokrouhlí až výsledné číslo.

- **Pravidla pro počítání s výsledky měření a pro stanovení počtu desetinných míst nebo pro stanovení počtu platných číslic takových výpočtů**

Neméně důležitá jsou samozřejmě obecná pravidla pro stanovení buď počtu platných desetinných míst, nebo pro stanovení celkového počtu platných míst výsledné hodnoty, která jsou získána aritmetickými operacemi s výsledky měření. Tato pravidla můžeme rozdělit na pravidla týkající se sčítání a odčítání čísel a na pravidla týkající se násobení a dělení čísel (obdobou násobení a dělení je pak umocňování a odmocňování).

- a) Pravidlo pro počet platných desetinných míst výsledku sčítání nebo odečítání čísel:

Výsledek sčítání nebo odečítání čísel má mít ten samý počet platných desetinných míst jako sčítanec (při odečítání má sčítanec zápornou hodnotu), který má nejmenší počet platných desetinných míst.

Příklad 1:

1. $83,5 + 23,28 = 106,78$.
2. Nejnižší počet platných desetinných míst má první sčítanec (jedno platné desetinné místo).
3. Výsledek tedy musí být zaokrouhlen na jedno platné desetinné místo.
4. Použitím pravidel pro zaokrouhlování tedy dostaneme výslednou hodnotu 106,8.

Příklad 2:

1. $865,9 - 2,8121 = 863,0879$.
2. Nejnižší počet platných desetinných míst má první sčítanec (jedno platné desetinné místo).
3. Výsledek tedy musí být zaokrouhlen na jedno platné desetinné místo.
4. Použitím pravidel pro zaokrouhlování tedy dostaneme výslednou hodnotu 863,1.

b) Pravidlo pro počet platných číslic ve výsledku násobení nebo dělení:

Výsledek násobení nebo dělení obsahuje ten samý počet platných číslic, jako má činitel vstupující do výpočtu, který má nejmenší počet platných číslic.

V příkladech uvedeme nejprve dva jednoduché příklady a pak dva speciální.

Příklad 1:

1. $9,2 \times 6,8 \times 0,3744 = 23,422464$.
2. Činitelé 9,2 a 6,8 mají shodně dvě platné číslice a činitel 0,3744 má pět platných číslic.
3. Výsledek tedy musí mít dvě platné číslice.
4. Použitím pravidel pro zaokrouhlování tedy dostaneme výslednou hodnotu 23,

Příklad 2:

1. $(9,2 : 6,8) \times 0,3744 = 0,506541176470588$.
2. Činitelé 9,2 a 6,8 mají shodně dvě platné číslice a činitel 0,3744 má pět platných číslic.
3. Výsledek tedy musí mít dvě platné číslice.

4. Použitím pravidel pro zaokrouhlování tedy dostaneme výslednou hodnotu 0,51.

Příklad 3:

1. $9,2 \times 6,82 \times 1000000 = 62\,744\,000$.
2. Činitel 9,2 má dvě platné číslice, činitel 6,82 má tři platné číslice a činitel 1 000 000 má sedm platných číslic.
3. Výsledek tedy musí mít dvě platné číslice.
4. Použitím pravidel pro zaokrouhlování tedy dostaneme výslednou hodnotu 63 000 000 (výsledek uvedeme bez desetinné čárky, protože jinak by měl osm platných číslic).

Příklad 4:

1. $9,2 \times 6,82 \times 1\,000\,000 = 62\,744\,000$.
2. Činitel 9,2 má dvě platné číslice, činitel 6,82 má tři platné číslice a činitel 1 000 000 má jednu platnou číslici.
3. Výsledek tedy musí mít jednu platnou číslici.
4. Použitím pravidel pro zaokrouhlování tedy dostaneme výslednou hodnotu 60 000 000 (výsledek uvedeme bez desetinné čárky, protože jinak by měl osm platných číslic).

• **Pravidla pro uvádění výsledků měření a jejich nejistot**

- a) Celkový výsledek měření se skládá z odhadu hodnoty měření y a jemu příslušející rozšířené nejistoty U .
- b) Celkový výsledek se pak uvádí ve tvaru: $(y \pm U)$.
- c) K tomu by měla být (v případě kalibračních laboratoří musí být) v běžných případech připojena poznámka: Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k = 2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95 %.
- d) Pokud je nutné postupovat v souladu s přílohou E dokumentu EA 4/02 (případ, kdy není splněn předpoklad normálního rozdělení), pak by měla mít (v případě kalibračních laboratoří musí mít) výše zmíněná poznámka jiný – následující tvar: Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k = XX$, což pro t -rozdělení s $v_{\text{eff}} = YY$ efektivními stupni volnosti odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95 %.

e) Číselná hodnota nejistoty měření musí být uváděna na nejvýše dvě platné číslice. Číselná hodnota výsledku měření se při závěrečném vyjádření standardně zaokrouhluje na pozici nejméně platné číslice nejistoty vztahující se k tomuto výsledku. Při zaokrouhlování je třeba používat běžná pravidla zaokrouhlování. Pokud by zaokrouhlování snížilo hodnotu nejistoty o více nežli 5 %, pak je třeba provést zaokrouhlení nahoru.

K tomu je vhodné dodat ještě několik informací. Odmyslíme-li si poznámku uvedenou v bodu c) respektive bodu d) výše uvedeného výčtu, pak například při měření hmotnosti udávané v gramech by tedy mohl výsledek měření vypadat např. následovně: $(45,24 \pm 0,15)$ g.

Základní dokument zabývající se vyjadřováním nejistot měření GUM (Guide to the expression of uncertainty in measurement) však připouští i jiné zápisy, které považuje za ekvivalentní. Jedná se o následující formy:

1. „výsledek měření je 45,24 g s rozšířenou nejistotou 0,15 g“,
2. 45,24(15) g – přičemž se číslo v závorkách považuje za rozšířenou nejistotu, která se vztahuje k posledním dvěma platným číslicím výsledku měření,
3. 45,24(0,15) g.

Mluvíme-li o nejistotě samostatně, aniž vymezujeme kolem hodnoty měření interval, pak nikdy znaménko \pm nepoužíváme. Říkat nebo psát, že nejistota je $\pm 0,15$ g, je tedy nesmysl.

V některých případech se ukazuje vhodné vyjádřit nejistotu jako hodnotu relativní. Hodnota nejistoty se pak stává bezrozměrnou veličinou, která se vyjadřuje zpravidla v procentech, promilech nebo v ppm.

V případě, že je nejistota výsledku měření vyjádřena relativně v procentech, promilech nebo v ppm, pak literatura zpravidla doporučuje zaokrouhlení této relativní hodnoty tak, aby její výsledná číselná hodnota měla jen jednu platnou číslici.

- **Pravidla pro počítání s nejistotami**

Tato pravidla, která plynou z aplikace věty o šíření nejistot, jsou poměrně jednoduchá a je možno je vyjádřit následovně.

1. Násobení výsledku měření s nejistotou měření ($A \pm a$) konstantou K (jednotky měření nebudeme pro zjednodušení v těchto případech uvádět):

$$K \times (A \pm a) = K \times A \pm K \times a.$$

Poznámka: Toto platí za předpokladu, že nejistota a je vyjádřena v absolutní hodnotě, která má zpravidla fyzikální rozměr. Pokud by se jednalo o relativní nejistotu vyjádřenou např. v procentech, pak by na relativní hodnotu této nejistoty nemělo násobení konstantou žádný vliv.

2. Pro sčítání a odečítání platí následující pravidlo:

Nejistota součtu a rozdílu hodnot určité veličiny (určitých veličin) je rovna odmocnině ze součtu čtverců nejistot příslušných hodnot veličin.

Platí tedy:

$$(A \pm a) + (B \pm b) = (A + B) \pm (a^2 + b^2)^{1/2},$$

$$(A \pm a) - (B \pm b) = (A - B) \pm (a^2 + b^2)^{1/2}.$$

3. Pro násobení a dělení (tedy též pro umocňování) platí následující pravidlo:

Relativní nejistota součinu nebo podílu hodnot určité veličiny (určitých veličin) je rovna odmocnině ze součtu čtverců relativních nejistot příslušných hodnot veličin.

Platí tedy:

$$(A \pm a) \times (B \pm b) = (A \times B) \pm (A \times B) \times (a^2/A^2 + b^2/B^2)^{1/2} = (A \times B) \pm (B^2a^2 + A^2b^2)^{1/2},$$

$$(A \pm a)/(B \pm b) = (A / B) \pm (A / B) \times (a^2/A^2 + b^2/B^2)^{1/2} = (A / B) \pm [(a^2 / B^2) + (A^2 - B^2) / B^4]^{1/2}.$$

- **Příklady špatného a správného uvádění nejistoty měření ve vazbě na pravidlo dvou platných číslic**

- a) Pokud je výsledek měření ve tvaru: $(4,2346 \pm 0,03)$ cm, pak je to špatně – naměřená hodnota má příliš mnoho platných číslic.
- b) Pokud je výsledek měření ve tvaru: $(4,2 \pm 0,03)$ cm, pak je to špatně – naměřená hodnota má málo platných číslic.
- c) Pokud je výsledek měření ve tvaru: $(4,23 \pm 0,03)$ cm, pak je to správně. A správně je to také při zápisu ve tvaru: $(4,232(\pm 0,031))$ cm.

6.3 Závěr

Je zřejmé, že v oblasti vyjadřování nejistot měření se jedná v zásadě o velmi jednoduchá pravidla, která je však vhodné důsledně používat a především vždy a za všech okolností respektovat. Především je třeba si uvědomit, že počet platných číslic výsledku měření není odvislý od libovůle osob provádějících měření ani od digitální zobrazovací jednotky kalkulačky, počítače nebo měřicího přístroje, ale od reálných možností daného měření. Od toho se pak také odvíjí i zaokrouhlování.

6.4 Problematika správného zápisu matematických vztahů, výrazů a fyzikálních jednotek měřených nebo vypočtených veličin

6.4.1 Matematické a fyzikální výrazy a vztahy

V matematických výrazech a vztazích se mohou vyskytnout především tyto hlavní skupiny symbolů a značek:

- číslice (správný matematický termín jsou čísla vyjádřená číslicemi),
- matematické symboly a značky,
- znaky jednotek,
- symboly veličin.

6.4.1.1 Čísla vyjádřená číslicemi

- a) Jako desetinné znaménko se u nás používá desetinná čárka.
- b) Číslice se pro přehlednost zpravidla oddělují do skupin po třech, počítáno napravo i nalevo od desetinného znaménka, např. 41 568,232 8. Oddělení mezerou se nepoužívá v letopočtech, které jsou vždy bez mezery.
- c) Číslo 10^6 se označuje číslovkou milion všude ve světě, ale pro 10^9 se u nás (ale např. i v Německu) používá číslovka miliarda, zatímco v Británii a především v USA to je .bilion. Názvem bilion se u nás označuje číslo 10^{12} . V odborném textu se asi tyto číslovky jako takové nevyskytnou často, ale při vyjadřování malých obsahů se kromě běžných procent a ppm (parts per million, 10^6) používá označení ppb (parts per billion, 10^9), což je rozdíl od českého významu číslovky bilion.

d) V textu je lepší psát jednoduché číslovky (základní, řadové i násobné) slovy, např. tři možnosti, druhá věta termodynamiky, dvakrát. Vyjádří-li se v textu číslovka číslicemi, nepřipojují se k ní pádové koncovky. Na druhé straně píšeme 1,5krát. (bez mezer), 10metrový (pokud nedáme přednost napsat desetimetrový nebo o délce 10 m).

6.4.2 *Matematické symboly a značky*

- a) Pro symbol odečítání se používá divis (neboli rozdělovník), správné je použít určený symbol, nebo ho lze v případě nouze nahradit pomlčkou.
- b) Násobení lze označit znaménkem \times (nejedná se však o malé písmeno iks!), násobící tečkou (pozor, je umístěná v poloviční výšce písmen a je oddělena mezerami před i za symbolem a není tedy identická s větnou tečkou, která je naopak na spodním účaří písmen a není před ní mezer), nebo postačí řazení symbolů za sebou; např. při násobení čísel vyjádřených písmeny pro součin čísel vyjádřených číslicemi je značka \times nebo násobící tečka naopak povinná. Symbolem násobení je i hvězdička ($*$).
- c) Dělení lze vyjádřit vodorovnou zlomkovou čarou (zlomkem), nebo šikmou zlomkovou čarou ($/$), nebo znaménkem $:$, které je opět odděleno mezerou před znaménkem i za ním.
- d) Matematické značky se vždy oddělují mezerou před značkou i za ní.
- e) Symboly matematických funkcí (\log , \ln , \sin , \cos) i symboly matematických operací (závorky, $+$, $-$, $.$, $:$, \times) se píšou zásadně a vždy stojatým písmem, podobně i symbol derivace, Σ jako symbol součtu, Δ jako symbol diference. Na druhé straně f jako symbol obecné funkce se píše kurzivou. Dále se konstanty, jako např. π jako symbol Ludolfova čísla nebo e jako symbol Eulerova čísla, píšou vždy stojatě.
- f) Před symbolem funkce se vždy dělá mezer, za symbolem následuje argument, u derivací a diferencí bez mezery, jinak opět s mezerou, pokud není umístěn v závorce, a za ním je opět mezer.
- g) Závorky se řadí od prostých ke složitějším: $()$, $[\]$, $\{ \}$, například:

$$\{ a / [(b - c) / d] + e \}.$$

6.4.3 Symboly jednotek

S platností od 1. 8. 1974 byla v tehdejším Československu normativně zavedena mezinárodní soustava jednotek označovaná symbolem SI. Dále je třeba zmínit vyhlášku č. 264/2000, o základních měřicích jednotkách a ostatních jednotkách a jejich označování, ve znění pozdějších předpisů, která je prováděcí vyhláškou k zákonu č. 505/1990, o metrologii, ve znění pozdějších předpisů. Tato vyhláška zavádí základní jednotky SI, používání stupňů Celsia k vyjádření rozdílu mezi dvěma termodynamickými teplotami, další odvozené jednotky SI, předpony a jejich značky používané pro označení dekadických násobků a dílů jednotek, zvláštní povolené názvy a značky desetinných násobků a dílů jednotek SI (litr, tuna, bar), jednotky, které jsou definovány na základě jednotek SI, ale nejsou dekadickými násobky nebo díly těchto jednotek, jednotky používané v SI, jejichž hodnoty byly stanoveny experimentálně, a jednotky a názvy jednotek povolené pouze ve specializované oblasti.

- a) Zkratky jednotek jsou pevně určeny. Normalizované značky jednotek se tedy nesmějí nahrazovat zkratkami, a to ani tehdy, kdyby se mohly zdát jasnější.
- b) Názvy jednotek se píšou vždy s malým počátečním písmenem (metr, kilogram, kelvin, ampér). Zkratky jednotek se píšou zásadně stojatě, nezávisle na tom, jakým písmem je tištěn ostatní text, a to s malým počátečním písmenem, jsou-li odvozeny od obecného názvu (m, kg), nebo s velkým počátečním písmenem, jsou-li odvozeny od vlastního jména (K, A).
- c) Symboly předpon pro tvoření násobků a dílů jednotek jsou rovněž pevně určeny. Píší se rovněž stojatě a ke značce příslušné jednotky se připojují bez mezery.
- d) Mezi číslem a symbolem jednotky je vždy mezera. Výjimkou je jednotka úhlu, °, která se píše bez mezery, např. 20°.
- e) Jednotky veličin složené ze symbolů několika jednotek lze psát dvěma způsoby, oba jsou správné: značky jednotlivých jednotek se mohou oddělovat znaménkem násobení; značky jednotek se oddělují pouze mezerou (Pa s, kg m²).

6.4.4 Symboly veličin

- a) Veličiny se označují jedním písmenem latinské nebo řecké abecedy. Existují však výjimky. např. Reynoldsovo kritérium Re ; a jsou tedy i značky složené ze dvou písmen a v součinu je nezbytné je oddělovat z obou stran mezerami.
- b) Jakmile je pro určitou veličinu potřeba uvádět matematický vztah, stojí za to, aby se pro ni použil nebo i zavedl symbol.
- c) Symboly fyzikálních veličin se obecně píšou vždy kurzivou (a to i symboly označené písmeny řecké abecedy).
- d) Ve složitějších odborných textech se navíc rozlišují veličiny různého neskalarního charakteru (vektory, operátory, matice atd.) různými typy (řezy) písma. Pro rozlišení významu symbolů se často používají indexy. Vhodné jsou dolní indexy nebo horní levé indexy, horní pravé indexy jsou méně vhodné, protože obecně znamenají umocňování.
- e) Zkratky slov (max, min) či označení fází (g, l, s, aq) se píšou vždy stojatě bez tečky na konci.
- f) Zkratku pro konstantu lze psát konst i const (takto, stojatě) a je také výjimkou z výše uvedeného zákazu slov v rovnicích; je přípustná i jako index u jiné veličiny, i jako člen v rovnici. Označíte-li ale konstantu obvyklým symbolem (např. k nebo K), je tento symbol opět psán kurzivou.

6.4.5 Chemické názvy a vzorce

- a) Názvosloví anorganických i organických sloučenin, které bylo vypracováno v souladu s pravidly IUPAC, je u nás do značné míry přijaté.
- b) Názvy organických sloučenin se v češtině zpravidla píšou dohromady (s výjimkou kyselin apod.) jako jedno slovo, bez mezer.
- c) Pro oddělení částí názvu lze v případě potřeby použít závorku či divis (nebo rozdělovník), např. bis(2-chlorethyl)ether, cyklohexanon-oxim, ale vždy bez mezer.
- d) Vzorce chemických sloučenin a značky chemických prvků se píšou vždy stojatě (tj. i v kurzivovém textu, např. v nadpisu). Půltučné písmo je přípustné.
- e) Symboly označující částice (proton p , elektron e atd.) se píšou stojatě stejně jako symboly hladin a slupek (K , L , π atd. proto např. se píše v termínu π -elektrony, nebo elektrony π stojaté π).

- f) Lokanty o-, m-, p-, N-, O-, S- apod. pro označení polohy substituentů se píšou kurzivou podobně jako stereodeskriptory (cis, trans, meso, E, Z, R, S, P, M) a sek-, terc-. Předpony bis-, tris-, cyklo-, iso- jsou však vždy stojatě.
- g) Ve vzorcích sloučenin se píšou značky prvků vedle sebe bez mezer (toto poměrně triviální konstatování platí i u adičních sloučenin, např. $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), v chemických rovnicích se ale mezi číselným koeficientem a vzorcem vždy vynechává mezera.

6.4.6 Umístění v textu

- a) Platí, že matematické vztahy či chemické rovnice se umísťují na zvláštní řádek, matematické výrazy a chemické vzorce do řádků textu.
- b) Rovnice na zvláštním řádku pak mohou být orientovány buď na střed, nebo zleva, odsazené na odstavcovou zarážku.
- c) Jestliže je třeba rovnici rozdělit do více řádků, potom zásadně píšeme rovnítko pod sebe (levou stranu rovnice není nutné opakovat).
- d) Pokud je rovnice sama dlouhá a je třeba ji rozdělit na dva řádky, lze tak učinit u znamének plus či minus, jen v naprosté krizi u znaménka násobení. Příslušné znaménko, kterým první řádek končí (=, +, .), se vždy musí opakovat na začátku řádku následujícího (opět rozdíl proti angličtině, která toto základní typografické pravidlo nemá a znaménko se neopakuje).
- e) Podobně opakujeme spojovník, u kterého jsme řádek přerušili, abychom ho odlišili od rozdělení slova.

6.4.7 Tabulky a grafy

- a) Bývá zvykem text v záhlaví sloupců tabulky zarovnávat na střed, v záhlaví řádků zleva a v jednotlivých polích tabulky na střed nebo zleva, nedělit slova.
- b) Čísla v polích tabulky se zarovnávají zprava, pod sebou příslušné číselné řády. Optimální je, je-li tabulka celkově stejně široká jako řádky textu.
- c) V tabulce nesmí být prázdné pole (musí v něm být alespoň pomlčka; nula v poli tabulky znamená, že nulová hodnota byla experimentálně nalezena).

- d) Text v hlavičkách sloupců zpravidla začíná velkým písmenem, text v hlavičkách řádků malým nebo velkým, ale jednotně v celé tabulce, text v jednotlivých polích tabulky vždy malým.
- e) Z prostých algebraických zákonitostí je zřejmé, že číselnou hodnotu veličiny je možné vyjádřit jako poměr veličiny a její jednotky, např. $l/m = 6$. V polích tabulky uvádíme právě tyto číselné hodnoty x (resp. na osách grafu je odečítáme), a napíšeme-li tedy do záhlaví sloupce (nebo k ose grafu) např. l/m , je vše v dokonalém pořádku.
- f) Mnohem běžnější je uvádění jednotek v závorkách, nebo oddělených od symbolu veličiny čárkou. Kulaté závorky nejsou špatně, zápis typu $.m$, kg . také ne. Jednotka ale nesmí být v lomených (hranatých) závorkách.

7. NEJISTOTY MĚŘENÍ A POSUZOVÁNÍ SHODY, NEJISTOTY MĚŘENÍ A JEJICH POUŽITÍ PRO OVĚŘOVÁNÍ MĚŘIDEL

7.1 Úvod

Obecný přístup k využití nejistot měření při posuzování shody je obsahem dokumentu ILAC G8 – Guidelines on Assessment and Reporting of Compliance with Specification (byl vydán česky jako Směrnice na posouzení a uvádění shody se specifikací a je možno ho zdarma získat z webových stránek ČIA – viz Literatura a seznam odkazů na webové stránky v závěru tohoto sborníku). Nemá smysl zde uvádět skutečnosti obsažené v tomto základním a lehce dostupném dokumentu. Každý si může jeho českou verzi snadno opatřit sám.

V legální metrologii provádíme ověřování měřidel a v rámci tohoto ověřování je třeba rozhodnout, zda měřidlo vyhovuje základním požadavkům na ně kladeným. Ostatně tento přístup a princip je používán nejenom pro ověřování měřidel v oblasti legální metrologie, ale týká se to vlastně i postupu ověřování měřidel a měřících zařízení tak, jak je to popsáno v normě ISO 10012:2003, kde je ověřování měřidel důležitou součástí metrologické confirmace měřidel. Zde se ovšem liší definice a obsah toho, co ověřování zahrnuje. V dalším textu vycházíme z textu a postupů obsažených v článku Klause-Dietera Sommera a Manfreda Kochsieka „Role nejistoty měření při rozhodování o shodě v legální metrologii“.

Metoda použitá pro rozhodování o tom, zda měřidlo vyhovuje příslušným požadavkům obsaženým v odpovídajícím technickém předpisu, má významný vliv na správnost příslušného měření. V zásadě existují dva základní přístupy týkající se rozhodování o shodě. Jde o klasický přístup, který nebere nejistotu měření v úvahu, a dále o jednoznačně modernější přístup, který je v zásadě ve shodě s pravidly rozhodování o shodě s technickými specifikacemi a který je obdobou postupů používaných v průmyslové praxi. Použití těchto různých přístupů a jejich dopady lze vyšetřit na základě jejich odpovídající analýzy.

Obecně platí – a je požadováno, aby měřidlo bylo vhodné pro zamýšlené použití a účel. V příslušných normách (ISO 9001:2000,

ISO 10012:2003, ISO/IEC 17025:2005) je obsažen transparentní požadavek, aby výsledky měření a zkoušení byly navázány na národní nebo mezinárodní etalony (standards) měření tak, aby bylo zřejmé, že mají příslušnou metrologickou kvalitu. Nejčastěji používanými postupy pro zajištění toho, že měřidlo měří správně, jsou:

1. kalibrace měřidel, které jsou prováděny odpovídajícími službami (zpravidla kalibračními laboratořemi) nebo odpovídajícím způsobem vlastními kvalifikovanými osobami podle uznávaných kalibračních postupů, přičemž četnost těchto kalibrací a pravidla pro jejich provádění se řídí zásadami a postupy, které jsou zpravidla součástí příslušného systému kvality,
2. v oblasti legální metrologie se jedná o postupy posuzování shody (nový přístup) nebo zkoušení typu za účelem schválení typu a za účelem prvotního ověřování (starý přístup) při uvádění měřidel na trh a do provozu a za účelem periodického následného ověřování u stanovených měřidel.

Oba tyto přístupy jsou (speciálně pak kalibrace a prvotní nebo následné ověřování) v zásadě velmi podobné a jsou zpravidla založeny na těch samých nebo velmi obdobných postupech měření. V průběhu vývoje však došlo k tomu, že pro oblast ověřování vznikla specifická metrologická infrastruktura vymezená v právních předpisech [v České republice se jedná o Český metrologický institut (dále jen ČMI) a tzv. autorizovaná metrologická střediska], která je specializována na provádění ověřování stanovených měřidel.

Ověřování shody měřidel spadající do oblasti legální metrologie se zpravidla skládá z měření a zkoušení, kde postup tohoto ověřování a postupy zkoušení a měření jsou popsány v právních předpisech nebo je na ně z právních předpisů vhodným způsobem odkazováno (např. odkazy na příslušné dokumenty obsahující odpovídající seznamy technických norem nebo jiných normativních dokumentů).

Současně je třeba zdůraznit, že při uvádění právními předpisy vymezených měřidel na trh a do provozu jsou dnes v souvislosti s vahami s neautomatickou činností a v souvislosti s tím, že brzy vstoupí v účinnost v jednotlivých zemích EU nová do národních právních systémů transponovaná směrnice o měřidlech, používány různé postupy posuzování shody, které jsou v právních předpisech

pro jednotlivé skupiny druhů měřidel transparentně specifikovány. Současně stále existuje starý přístup používaný pro uvádění těchto měřidel na trh a do provozu (přezkoušení a schválení typu a zpravidla též prvotní ověření).

Bohužel je třeba konstatovat, že speciálně následné ověřování ale způsobuje v současné době v rámci managementu kvality firmami určité problémy. Je třeba si uvědomit, že jako kritérium jsou pro tato měřidla zpravidla stanoveny pouze tzv. největší dovolené chyby (dále jen MPE) a nejistoty měření nejsou nijak explicitně dány. Také vztah mezi předepsanými mezemi chyb a nejistotami měření není často správně chápán. Pro uživatele měřidla je samozřejmě nejdůležitější to, zda obdrží z měřidla, které je pravidelně ověřováno, tytéž výsledky (popř. výsledky srovnatelné) jako z měřidla, které je pravidelně kalibrováno. Také je podstatné, aby výstup z ověřování (ověřovací list) poskytoval uživateli srovnatelné informace jako výstup z kalibrace (kalibrační list) a byl tak pro uživatele zdrojem významných informací pro stanovení nejistot jeho měření. Je zřejmé, že k naplnění očekávání uživatele měřidla je potřebné pochopit důležitost úlohy nejistoty měření při rozhodování o shodě spolu s odhadem nejistoty, s jakou budou ověřovaná měřidla nebo měřidla procházející posuzováním shody měřit, až budou používána.

7.2 Ověřování, kalibrace a nejistota měření

Pokusme se stanovit, z čeho se ověřování v oblasti legální metrologie obecně skládá. Je třeba si uvědomit, že toto ověřování nesmí být zaměňováno s tím, jak je ověřování vymezeno např. v normě ISO 10012:2003. Jen stručně pro bližší vysvětlení termínu ověřování je třeba uvést následující skutečnost. Ověření ve smyslu normy ISO 10012:2003 naplňuje plně definici pojmu „ověření“ uvedenou v ČSN EN ISO 9000:2001 a nejde o nic jiného než o porovnání stanovených metrologických specifikací (plynou z požadavků kladejších na produkt a produkční proces ze strany uživatele měřidla) s metrologickými charakteristikami příslušného měřidla nebo měřicího zařízení. Charakteristiky příslušného měřidla nebo měřicího zařízení jsou zjištěny na základě kalibrace, jejíž výsledky zde vystupují v podobě objektivního důkazu. Výsledky kalibrace jsou obsahem kalibračního protokolu/kalibračního certifikátu/kalibračního

listu. Součástí tohoto dokumentu může být též prohlášení o shodě se stanovenými metrologickými specifikacemi. U ověřování např. ve smyslu našeho zákona o metrologii (tady se jedná právě o oblast legální metrologie) může být jako doklad o tomto ověření vydána ověřovací značka nebo ověřovací list, který nemusí mít všechny náležitosti kalibračního listu (např. nemusí obsahovat odhady nejistot měření). Obecně by toto ověření sice mělo být založeno na kalibraci, ale nemusí tomu tak být vždy a může jít o zjednodušený postup, který je pro tento typ ověření dostačující. Ověřování podle výše zmíněného zákona provádějí zásadně ČMI nebo autorizovaná metrologická střediska a vlastník nebo uživatel měřidla si tedy nemůže toto ověření provádět sám, pokud není příslušným pracovištěm ČMI nebo odpovídajícím autorizovaným metrologickým střediskem. Metrologická confirmace, kterou potřebuje mít u příslušných měřidel organizace a která je ve shodě s normou ISO 10012:2003, se tedy může významně lišit od požadavků týkajících se ověření ve smyslu výše uvedeného zákona, který slouží k zavedení základního metrologického pořádku v rámci České republiky.

Zpravidla však lze tvrdit, že by ověřování mělo zahrnovat:

1. Kvalitativní a popř. i kvantitativní zkoušky, které souvisejí s vyšetřením celkového stavu měřidla a požadavků na bezpečnost měřidla.
2. Kvantitativní zkoušky, které jsou v souladu s definicí kalibrace.
3. Vyhodnocení výsledků výše uvedených kvalitativních a kvantitativních zkoušek s cílem zjistit, zda jsou plněny v příslušných právních předpisech stanovené požadavky.
4. Z vydání ověřovacího listu nebo označení měřidla ověřovací značkou v případě, že měřidlo stanovené požadavky plní, a vydání tzv. zamítacího listu v případě, že měřidlo stanovené požadavky neplní.

Je samozřejmé, že se zkouškami kvantitativního charakteru jsou spojeny příslušné nejistoty měření. Cílem kvantitativních zkoušek je stanovení chyb měření a s nimi spojených nejistot měření v rámci předepsaných hodnot zkoušení. Zkoušky jsou prováděny podle velmi dobře popsaných, validovaných, ověřených a zpravidla též normalizovaných zkušebních postupů. Tyto zkušební postupy jsou většinou identické s postupy, které jsou používány pro kalibrace.

V podstatě se dá říci, že takový zkušební postup používaný při ověřování splňuje definici kalibrace tak, jak je uvedena např. ve VIM, a může být tedy také za kalibraci zpravidla považován. V podstatě se jedná o klasické porovnání s odpovídajícím etalonem (standardem) měření. Etalon (standard) měření ztělesňuje nebo jinak poskytuje známou hodnotu měřené veličiny X_S . Chyba měřidla je pak definována jako rozdíl indikace měřidla přístroje a pravé hodnoty odpovídající vstupní veličiny. Přitom je třeba si uvědomit, že pravá hodnota nemůže být stanovena a že se tedy v praxi zpravidla používá tzv. konvenčně pravá hodnota. Tento pojem se vztahuje zejména na případy, kdy je měřidlo porovnáváno s referenčním etalonem (standardem). Chybu měřidla ΔX můžeme vyjádřit následujícím vztahem:

$$\Delta X = X_{INDX} - X_S - \delta X_{CS} - \delta X_p$$

kde

X_{INDX} je hodnota měřené veličiny indikovaná zkoušeným přístrojem,

X_S je konvenčně pravá hodnota měřené veličiny,

δX_{CS} je neznámá chyba etalonu (standardu) v důsledku nedokonalé kalibrace etalonu (standardu) samotného,

δX_p je kombinací všech ostatních neznámých chyb způsobených různými dalšími nedokonalostmi spojenými s postupem měření a s měřidlem.

Výše zmíněná kombinace chyb δX_p se může skládat například z následujících chyb – neznámé chyby etalonu (standardu) způsobené driftem, neznámé chyby etalonu (standardu) v důsledku jeho citlivosti na podmínky vnějšího prostředí, neznámé chyby v důsledku nedokonalého spojení měřidla s měřeným subjektem (projevují se zde vlivy teplotních změn, změn tlaku atd.) a v neposlední řadě neznámou chybou čtení nebo digitálního rozlišení.

Očekávaná chyba je pak značena $E(\Delta X)$. Na jejím základě je možno stanovit odpovídající rozšířenou nejistotu U , která je vyjádřena jako:

$$U = k \times u(\Delta x),$$

kde

k je koeficient rozšíření,

u (Δx) je celková kombinovaná nejistota měření.

Celkovou kombinovanou nejistotu měření lze vypočítat jako odmocninu ze součtu čtverců složek nejistot měření vyjádřených formou směrodatných odchylek. Předpokladem zde je, že zdroje složek nejistoty měření jsou nezávislé. Pokud bychom se zajímali o to, jaké složky nejistoty měření se na kombinované nejistotě měření podílejí, pak sem patří například složka nejistoty měření, kterou lze odvodit z prohlášení o nejistotě měření uvedené v kalibračním listu příslušného etalonu (standardu) měření, dále sem patří nejistota měření odvozená ze znalosti týkající se dlouhodobé stability etalonu (standardu) měření atd. Ostatní složky nejistoty měření mohou být odhadnuty na základě znalostí týkajících se prováděných kvantitativních zkoušek nebo kalibrací. Důležité je si také uvědomit, že výsledek kalibrace je platný pouze v okamžiku kalibrace a že je platný pouze za podmínek, při kterých byla kalibrace prováděna. Měřidla jsou také často používána v prostředí, které může být značně odlišné od prostředí, ve kterém probíhá kvantitativní zkoušení v rámci ověřování nebo při kalibraci. To ale znamená, že nejistota měření, která byla vyhodnocena v laboratorních podmínkách (kalibrace nebo příslušné zkoušky totiž probíhají zpravidla ve specifických jasně stanovených podmínkách, které zpravidla zajišťují určitou stanovenou a minimálně proměnnou hodnotu stanovených ovlivňujících veličin), bude často podstatně vyšší, protože měřidlo bývá často citlivé na vlivy prostředí. Dalším častým problémem je to, že parametry měřidla se s délkou jeho používání zhoršují – je zde samozřejmě i souvislost s intenzitou používání. Zde v zásadě narážíme na potřebu optimalizace intervalu kalibrace nebo ověřování. V legální metrologii jsou zpravidla intervaly následného ověřování stanoveny paušálně pro všechna měřidla daného v příslušném právním předpise vymezeného druhu měřidel. Uživatel měřidla by si měl být vědom důležitosti používání příslušného měřidla a měl by zvážit četnost kalibrací, případně četnost ověřování. Četnost ověřování stanovených druhů měřidel je nutno z tohoto pohledu chápat jako skutečně základní péči o správnost měření.

7.3 Posuzování shody v legální metrologii

V první řadě je třeba specifikovat meze hodnot, na základě kterých bude posuzována shoda a nejistota měření. Pokud je měřidlo

zkoušeno za účelem prokázání shody se stanovenými technickými specifikacemi, popř. pokud je kontrolováno za účelem potvrzení, že stále ještě splňuje určité požadavky na něj kladené (zpravidla se zde bere ohled na určité stanovené meze chyb, které nemají být překročeny), pak se taková zkouška skládá z porovnání, že výsledek kalibrace má chybu, která leží v mezích, které jsou pro tuto chybu stanoveny. Nejistota měření spojená s výsledkem kalibrace se pak stává nevyhnutelně nejistotou spojenou s rozhodováním týkajícím se shody. Výsledky měření, které ovlivněny chybami měření leží blízko předepsaných mezí chyb MPE_- a MPE_+ nemohou být s konečnou platností prohlášeny za výsledky, které jsou nebo nejsou ve shodě s danými technickými specifikacemi. Vzniká tak v případě stanovených hodnot MPE_- a MPE_+ zpravidla horní a dolní oblast neurčitosti. Tyto intervaly nejistoty jsou pak definovány jako:

$$I_{MPE-} = (MPE_- - U; MPE_- + U) \text{ a}$$

$$I_{MPE+} = (MPE_+ - U; MPE_+ + U).$$

Na základě vysvětlení obsažených v GUM lze očekávat, že hodnoty ležící mimo tyto intervaly nejistoty lze jednoznačně označit s vysokou pravděpodobností jako výsledky, které jsou nebo nejsou ve shodě se stanovenými technickými specifikacemi. Pokud je tedy měřidlo předmětem koupě nebo prodeje, pak tato skutečnost tvoří základ pro prokázání shody nebo neshody se stanovenými specifikacemi.

7.4 Rozhodovací kritéria – Klasický přístup používaný v legální metrologii

Klasický přístup při vyhodnocení výsledků kvantitativního zkoušení v rámci ověřování měřidel nebere v podstatě nejistotu měření přímo v úvahu. Zpravidla se prostě předpokládá, že měřidlo můžeme považovat za vyhovující kritériím kvantitativního zkoušení v rámci ověřování, pokud splňují následující kritéria:

1. hodnota chyby měřidla, které je předmětem zkoušení v rámci ověřování, je rovna nebo je menší než hodnota předepsané maximální dovolené chyby MPE , tj.

$$|\Delta x| \leq MPE.$$

2. Rozšířená nejistota měření spojená s hodnotou chyby měření (pro výpočet rozšířené nejistoty měření byl použit koeficient rozšíření k , který způsobí, že pravděpodobnost pokrytí je 95 %) je malá v porovnání s předepsanými mezemi chyb.

Při ověřování se obvykle považuje rozšířená nejistota měření U_{95} za:

$$U_{95} \leq U_{\max} = (1/3) \text{ MPE},$$

Kde

U_{\max} je maximální přijatelná hodnota rozšířené nejistoty měření související s chybou měření.

V případě zkoušení typu je maximální přijatelná hodnota rozšířené nejistoty měření redukována na

$$U_{95\text{type}} \leq U_{\max\text{type}} = (1/5) \text{ MPE}.$$

Rozhodovací kritérium týkající se ověřování umožňuje v důsledku přidružené nejistoty, která může nabývat až hodnoty U_{\max} , to, že dané meze maximálně dovolené chyby mohou být překročeny maximálně právě o tuto hodnotu nejistoty U_{\max} , tj. vyjádřeno v procentech o 33 % maximální dovolené chyby. Je třeba poznamenat, že v řadě zemí, jejichž systém legální metrologie je na vyšší úrovni, je definován u příslušných stanovených měřidel ještě další druh maximálních dovolených chyb. Jedná se o maximální dovolené chyby používané pro ověřování měřidel v provozu (tj. pro tzv. následné ověřování). Tyto maximální dovolené chyby jsou pak zpravidla dvojnásobné proti maximálním dovoleným chybám používaným v rámci prvotního ověřování. To znamená, že je jen zanedbatelné riziko ve smyslu toho, že žádná v rámci ověřování naměřená hodnota, a to i za předpokladu, že budou vzaty v úvahu s ní spojené nejistoty, nepřekročí takto stanovené meze největších dovolených chyb týkající se měřidla v používání.

7.5 Rozhodovací kritéria – Moderní přístup pro rozhodování o shodě

V moderní legální metrologii se postupně začíná prosazovat jiný přístup. V regulované oblasti je tento přístup používán pro zkoušení např. pracovních etalonů (standardů). Tento přístup je ve shodě s postupy předepsanými a používanými při realizaci prohlášení o shodě

výsledků kalibrací v průmyslové metrologii a jsou dále v souladu s rozhodovacími pravidly obsaženými v ISO 14253-1:1998 zavedena v ČSN EN ISO 14253-1:2000 (01 4100) Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Zkoušení obrobků a měřidel – Část 1: Pravidla rozhodování o prokazování shody nebo neshody se specifikacemi (idt EN ISO 14253-1:2000). V tomto případě bude shoda měřidel s požadavky a kritérii právních předpisů stanovována na základě následujících kritérií:

1. Hodnota chyby měřidla Δx , které je předmětem zkoušení v rámci ověřování, je rovna nebo menší než rozdíl mezi hodnotou předepsané meze chyby (MPE) a skutečnou rozšířenou nejistotou měření U_{95} . Význam symbolů je stejný jako u klasického přístupu.

$$|\Delta x| \leq MPE - U_{95}$$

2. Rozšířená nejistota měření spojená s hodnotou chyby měření (pro výpočet rozšířené nejistoty měření byl použit koeficient rozšíření k , který způsobí, že pravděpodobnost pokrytí je 95 %) je malá v porovnání s předepsanými mezemi chyby.

V praxi to znamená, že interval, ve kterém lze přijmout předpoklad shody, je významně zúžen. Rozsah tohoto intervalu je $[MPE_- + U_{95}; MPE_+ - U_{95}]$. Ve srovnání s klasickým přístupem je zde redukce stanovených mezí chyb. Je třeba si také všimnout toho, že meze pro přijetí shody závisí na hodnotě rozšířené nejistoty měření, která je stanovena laboratoří. To znamená, že meze pro přijetí shody nejsou konstantní, ale mění se v závislosti na technické způsobilosti laboratoře.

8. SEZNAM ZKRATEK

BIML	Bureau International de Métrologie Légale (Mezinárodní úřad pro legální metrologii)
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures (Mezinárodní úřad pro váhy a míry)
BMC	Nejlepší měřicí schopnost
CGPM	Conférence générale des poids et mesures (Generální konference pro váhy a míry)
CIML	Comité International de Métrologie Légale (Mezinárodní výbor pro legální metrologii)
CIPM	Comité International des Poids et Mesures (Mezinárodní výbor pro váhy a míry)
CIPM MRA	Úmluva o vzájemném uznávání Mezinárodního výbo- ru pro míry a váhy
CMC	Kalibrační a měřicí schopnost
ČIA	Český institut pro akreditaci, o.p.s.
ČMI	Český metrologický institut
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
EA	European co-operation for Accreditation (Evropská spolupráce v oblasti akreditace)
EN	Evropská norma
ES	Evropské společenství
EU	Evropská unie
EUROMET	European Collaboration in Measurement Standards (Evropská spolupráce pro etalony a standardy měření)
GUM	Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement – Pokyn pro vyjadřování nejistot měření
IEC	International Electrotechnical Committee (Mezinárodní elektrotechnická komise)
ILAC	International Laboratory Accreditation Cooperation (Mezinárodní spolupráce v oblasti akreditace labora- toří)
ISO	International Standardisation Organisation (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
MLA	Multilateral Agreement (Mnohostranná dohoda)

MLA EA	Multilateral Agreement of European co-operation for Accreditation (Mnohostranná dohoda o uznávání Evropské spolupráce v oblasti akreditace)
MPE	Největší dovolená chyba
MRA	Mutual Recognition Arrangement (Úmluva o vzájemném uznávání)
MRA ILAC	Mutual Recognition Arrangement of International Laboratory Accreditation Cooperation (Úmluva o vzájemném uznávání Mezinárodní spolupráce v oblasti akreditace laboratoří)
OIML	Organisation Internationale de Métrologie Légale (Mezinárodní organizace pro legální metrologii)
ÚNMZ	Úřad pro technickou organizaci, metrologii a státní zkušebnictví
VIM	Vocabulary of basic and general terms in metrology (Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii)
VIML	International Vocabulary of Terms in Legal Metrology (Mezinárodní slovník termínů v legální metrologii)
WELMEC	Western European Legal Metrology Co-operation (Organizace pro evropskou spolupráci v legální metrologii)

9. LITERATURA A ODKAZY NA WEBOVÉ STRÁNKY

- [1] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, issued by BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML (vyšel jako předběžná evropská norma ENV 13005:1998 a v současné době je připravován k vydání jako ČSN P ENV 13005)
- [2] EA 4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration (EA4/02 – Vyjadřování nejistot měření při kalibracích)
- [3] EURACHEM/CITAC – Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement (EURACHEM/CITAC – Stanovení nejistot analytického měření)
- [4] NORDTEST TR 537 – Handbook for calculation of measurement uncertainty in environmental laboratories, EDITION 2:2003 (Příručka pro výpočet nejistot měření v laboratořích působících v oblasti životního prostředí)
- [5] VIM:1993 Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii. Vydáno společně BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML (vyšel jako česká technická norma ČSN 01 0115:1996)
- [6] ISO 3534-1 až 3, Statistika – Slovník a značky – Části 1 až 3 (vyšla jako česká technická norma ČSN ISO 3534-1 až 3 – část 3 ve druhém vydání z roku 2001, které ruší vydání první z roku 1993)
- [7] ISO 5725-1 až 6: Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření – Části 1 až 6 (vyšla jako česká technická norma ČSN ISO 5725-1 až 6)
- [8] Metrologická terminologie v chemii, Chem. Listy 94, 439-444 (2000)
- [9] ISO/TS 21748:2004, Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty estimation (vyšla jako česká technická norma ČSN P ISO/TS 21748:2005, Pokyn pro použití odhadů opakovatelnosti, reprodukovatelnosti a správnosti při odhadování nejistoty měření)
- [10] ISO/IEC Guide 43-1:1997, Proficiency testing by interlaboratory comparisons — Part 1: Development and operation of

- proficiency testing schemes (ISO/IEC Pokyn 43-1:1997, Zkoušení způsobilosti prostřednictvím mezilaboratorních porovnání — Část 1: Vývoj a provozování programů zkoušení způsobilosti – v češtině dosud nevydán)
- [11] ISO 15189:2003, Zdravotnické laboratoře – Zvláštní požadavky na jakost a způsobilost (vydána jako česká technická norma ČSN EN ISO 15189:2004)
- [12] ISO 10012:1993, Systémy managementu měření – Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení (vyšla jako česká technická norma ČSN EN ISO 10012:2003)
- [13] VIML:2000 – International Vocabulary of Terms in Legal Metrology (vydáno OIML) (Původní verze dokumentu zapracována v dosud platné ČSN 01 0115)
- [14] ISO/IEC 17000:2004, Posuzování shody – Všeobecný terminologický slovník (vyšla jako EN ISO/IEC 17000:2004 a posléze jako ČSN EN ISO/IEC 17000:2005)
- [15] ISO/IEC Guide 2:2004, Standardization and related activities – General vocabulary [tento ISO/IEC pokyn bude vydán formou normativního dokumentu (nikoli tedy formou normy) v Českém normalizačním institutu koncem roku 2005 – v důsledku vydání tohoto pokynu a normy ISO/IEC 17000 (převzata CEN jako EN ISO/IEC 17000) byl zrušen starý ISO/IEC Guide 2:1996 a norma EN 45020:1998, která byla s tímto pokynem identická]
- [16] ISO 9000:2000, Systémy managementu jakosti – Základy, zásady a slovník [vyšla jako česká technická norma ČSN EN ISO 9000:2000 (druhá edice 2002)]
- [17] Zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii, ve znění pozdějších předpisů
- [18] Symboly veličin a názvosloví používané v analytické chemii. Academia Praha 1973 [viz Chem. Listy 66,274, 405, 524 (1972)]
- [19] K. A. Brownlee (1960). Statistical Theory and Methodology in Science and Engineering, John Wiley & Sons, Inc., New York, p. 236
- [20] Churchill Eisenhart (1962). Realistic Evaluation of the Precision and Accuracy of Instrument Calibration Systems]

- Research National Bureau of Standards-C. Engineering and Instrumentation, Vol. 67C, No.2, p. 161-187
- [21] Steve D. Phillips and Keith R. Eberhardt (1997). Guidelines for Expressing the Uncertainty of Measurement Results Containing Uncorrected Bias, NIST Journal of Research, Vol. 102, No. 5
- [22] Determining and Reporting Measurement Uncertainties, National Conference of Standards Laboratories RP-12, (1994), Suite 305B, 1800 30th St., Boulder, CO 80301
- [23] ISO 10576-1:2003 zavedena v ČSN ISO 10576-1:2004 (01 0241) Statistické metody – Směrnice pro hodnocení shody se specifikovanými požadavky – Část 1: Obecné principy
- [24] ISO 10725:2000 zavedena v ČSN ISO 10725:202 (01 0263) Výběrové přejímací plány a postupy pro kontrolu hromadných materiálů
- [25] ISO 11648-1 zavedena v ČSN ISO 11648-1:2004 (01 0264) Statistická hlediska vzorkování hromadných materiálů – Část 1: Obecné principy
- [26] EN ISO/IEC 17025:2005 zavedena v ČSN EN ISO/IEC 17025:2005 (01 5253) Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří
- [27] Geometrical Product Specification (GPS) – Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment; Part 1: Decision rules for proving conformance or nonconformance with specifications, ISO 14253 – 1, 1998, International Organization for Standardization(ISO), Geneva 1998
- [28] D. Sommer and S.E. Chappell and M. Kochsiek, „Calibration and verification: Two procedures having comparable objectives and results“, OIML Bulletin, Vol. XLII, pp. 5 – 12, January 2001
- [29] D. Sommer and M. Kochsiek, „Role of measurement uncertainty in deciding conformance in legal metrology“ OIML Bulletin, Vol. XLIII • No 2 • April 2002,
- [30] OIML Bulletin, Vol. XLII, pp. 5 – 12, January 2001
- [31] The Expression of Uncertainty in Quantitative Testing, EA – 3 / 02, Ed. 1, European Cooperation for Accreditation(EA), April 1997

Odkazy na webové stránky:

Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví:

<http://www.unmz.cz/>

Český institut pro akreditaci, o.p.s.

<http://www.cai.cz/>

Český metrologický institut

<http://www.cmi.cz/>

Český normalizační institut

http://domino.csni.cz/NP/NotesPortalCNI.nsf/key/hlavni_stranka?Open

International Laboratory Accreditation Cooperation:

<http://www.ilac.org/>

Mezinárodní organizace pro legální metrologii OIML:

<http://www.oiml.org/>

Mezinárodní normalizační organizace ISO:

<http://www.iso.ch/iso/en/ISOOnline.frontpage>

Evropská normalizační organizace CEN:

<http://www.cenorm.be/cenorm/index.htm>

Evropská spolupráce v oblasti akreditace EA:

http://www.european-accreditation.org/default_flash.htm

Eurachem

www.eurachem.ul.pt

Eurachem ČR

www.eurachem.cz/eurachem-cr/index.htm

EUROMET:

<http://www.euromet.org/>

WELMEC:

<http://www.welmec.org/>

Mezinárodní úřad pro míry a váhy BIPM:

<http://www.bipm.fr/>

NORDTEST:

www.nordtest.org

NIST – příručka Engineering Statistic Handbook

www.itl.nist.gov/div898/handbook

