

GUIDE

OIML G 19

Edition 2017 (E)

**Role nejistoty měření v rozhodování při
posuzování shody v legální metrologii**



Obsah

Předmluva	5
1 Rozsah působnosti a cíle	6
2 Termíny a definice	8
3 Úvod.....	16
3.1 Charakterizace měřidel a systémů	16
3.2 Rozhodování o shodě s použitím nejistoty měření	16
3.3 Chyba versus nejistota	17
3.4 Ověření zahrnující nejistotu měření.....	17
3.5 MPE a nejistota měření.....	17
4 Základní úvahy týkající se rozhodování při zkoušení shody a v oblasti nejistot měření.....	19
5 Rozhodnutí při zkoušení shody, která explicitně zahrnují nejistotu měření	21
5.1 Funkce hustoty pravděpodobnosti (PDF)	23
5.2 Pravděpodobnost shody	24
5.3 „Rizika“ a „rozhodovací pravidla“ spojená s rozhodováním o shodě	26
6 Rozhodnutí při zkoušení shody, která explicitně nezahrnují nejistotu měření	32
7 Zohlednění nejistoty měření při stanovení největších dovolených chyb (MPE) a tříd přesnosti.....	35
8 Možnosti a návrh formulací týkajících se „nejistoty měření“, které mají být zváženy pro zahrnutí do doporučení OIML a dalších publikací	36
8.1 Začlenění nejistoty měření do zkoušení v prostředí laboratoře	36
8.2 Výpočet nejistoty měření	36
8.3 Stanovení MPE a MPU	38
8.4 Stanovení přijatelných úrovní rizika	38
8.5 Stanovení nejistoty chyby indikace, pokud není použito sdílené riziko	38
8.6 Komplexnost posouzení nejistoty chyby indikace.....	39
8.7 Zaznamenávání nejistoty měření do protokolů o zkoušce OIML hodnocení typu	39
8.8 Uvedení návodu pro používání nejistoty měření pro následné ověřování	40
9 Odkazy	41
Příloha A Koexistence „chyby měření“ a „nejistoty měření“ v legální metrologii (vztah mezi kalibrací a ověřováním).....	44
Příloha B Použití tabulky distribuční funkce normovaného normálního rozdělení (Z-tabulka).....	51
Příloha C Příklad stanovení nejistoty měření chyby indikace	55
Příloha D Příklad posouzení rizika zahrnující nejistotu měření	61
Příloha E Index způsobilosti měření (C_m).....	67
Příloha F Stanovení nejistoty měření pro použití při zkoušení shody měřidel a měřicích systémů.....	68

Předmluva

Mezinárodní organizace pro legální metrologii (International Organisation of Legal Metrology, OIML) je světová mezivládní organizace, jejímž hlavním cílem je harmonizovat předpisy a metrologický dozor vykonávaný národními metrologickými službami nebo obdobnými institucemi členských států.

Hlavní kategorie publikací vydávaných OIML jsou následující:

- **Mezinárodní doporučení (International Recommendations, OIML R)**, které představují vzorové předpisy stanovující požadované metrologické charakteristiky příslušných měřidel a které specifikují metody a vybavení pro zkoušení jejich shody. Tato doporučení mají být členskými státy OIML implementována v maximálním možném rozsahu.
- **Mezinárodní dokumenty (International Documents, OIML D)**, které jsou informativní povahy a jsou určeny k harmonizaci a zkvalitnění činností v oblasti legální metrologie).
- **Mezinárodní příručky (International Guides, OIML G)**, které jsou také informativní povahy a jejich cílem je poskytnout pokyny pro aplikaci určitých požadavků v legální metrologii.
- **Mezinárodní základní publikace (International Basic Publications, OIML B)**, které definují pravidla fungování různých struktur a systémů OIML.

Návrhy doporučení, dokumentů a příruček OIML vypracovávají projektové skupiny propojené s technickými výbory nebo podvýbory, které jsou složeny ze zástupců členských států. Formou konzultací se rovněž účastní mezinárodní a regionální instituce. Mezi OIML a některými z institucí, jako jsou ISO a IEC, byly uzavřeny dohody o spolupráci s cílem vyhnout se protichůdným požadavkům. Díky tomu mohou výrobci a uživatelé měřidel, zkušební laboratoře atd. používat současně publikace OIML i jiných institucí.

Mezinárodní doporučení, dokumenty, příručky a základní publikace jsou vydávány v angličtině (E) a překládány do francouzštiny (F) a procházejí pravidelně revizemi.

Kromě toho OIML publikuje nebo se podílí na vydávání **Slovníků (Vocabularies, OIML V)** a pravidelně pověřuje odborníky v legální metrologii zpracováním **Expertních zpráv (Expert Reports, OIML E)**. Tyto Expertní zprávy jsou určeny k poskytování informací a sdělení a jsou psány výhradně z pohledu jejich autora, bez zapojení technické komise, podvýboru nebo CIML. Nemusí tedy nutně reprezentovat názory OIML.

Tuto publikaci s označením OIML G 19, vydání 2017 (E) zpracovala Project Group 2 Technického podvýboru OIML TC 3/SC 5 *New Guide: Expression of uncertainty in measurement in legal metrology applications*. Ke konečnému zveřejnění byla schválena prezidentem Mezinárodního výboru pro legální metrologii (CIML) v únoru 2017.

Publikace OIML je možné stahovat z webových stránek OIML ve formátu PDF. Další informace o publikacích OIML je možné získat v sídle organizace:

Bureau International de Métrologie Légale
11, rue Turgot - 75009 Paris – France
Telephone: 33 (0)1 48 78 12 82
Fax: 33 (0)1 42 82 17 27
E-mail: biml@oiml.org
Internet: www.oiml.org

1 Rozsah působnosti a cíle

Náplní této příručky OIML je poskytnout návod sekretariátům a vedoucím v rámci OIML a členům technických výborů, podvýborů a projektových skupin OIML návod ohledně začlenění konceptu „nejistoty měření“ do doporučení OIML a dalších publikací OIML používaných pro účely legální metrologie. Předpokládá se, že čtenář alespoň rámcově zná pojmy uvedené v Příručce pro vyjadřování nejistoty měření [1] (dále označované jako GUM), případně i pojmy v jejích dodatcích [2][3][4][5]. Očekává se, že se tato příručka stane součástí řady publikací OIML a její obsah tak bude potřeba začlenit do Doporučení OIML (OIML R) a Dokumentů OIML (OIML D). Tato prvotní verze je nicméně prezentována jako příručka, „Guide OIML“, aby technické výbory, podvýbory a projektové skupiny OIML získaly více času na zohlednění obsahu a způsobu začlenění do doporučení a dokumentů, za které jsou odpovědné.

Hlavním cílem této příručky OIML je poskytnout návod, jak začlenit text do publikací OIML, které popisují, kdy a jak zohlednit nejistotu měření při posuzování shody kontrolou, tj. při stanovení, zda jednotka (výrobek, proces, systém, osoba nebo orgán) splňuje příslušné normy nebo stanovené požadavky. Zvláštní důraz je kladen na posuzování shody měřidel (nebo systémů), zejména s použitím naměřených hodnot získaných při zkoušení nebo ověřování měřidel nebo systémů jako základu pro rozhodování vyhověl – nevyhověl v legální metrologii. O úloze nejistoty měření pro další důležité položky podléhající posouzení shody v oblasti legální metrologie, jako je hotově balené zboží (jako prototyp pro obecnější posuzování shody výrobků) a obecněji pro položky všeho druhu, je pojednáno v jiných publikacích.

Praktické postupy, jak začlenit obsah této příručky OIML do jiných publikací OIML jsou navrženy v kapitole 8.

Návrhy obsahují poskytnutí informací včetně příslušných odkazů, jak posuzovat možná „rizika“ nesprávných rozhodnutí o shodě. Taková rizika nevyhnutelně vyplývají z nejistoty měření spojené s naměřenými hodnotami získanými při zkoušení nebo ověřování měřidla nebo systému. To znamená, že nejistota měření ve výsledku zkoušky – zdánlivý rozptyl výrobku vyplývající z omezené kvality měření – může být problémem při posuzování shody kontrolou, protože pokud není zohledněna, může vést k nesprávným odhadům důsledků chyby jednotky a zvýšit riziko přijetí nesprávných rozhodnutí, jako je nepřijetí shodné jednotky nebo přijetí neshodné jednotky v případě, kdy se výsledek zkoušky blíží toleranční mezi.

Tato příručka také rozvádí rozdíl mezi „chybou“ a „nejistotou“ způsobem, který ukazuje, jak jsou oba koncepty (a termíny) důležité v legální metrologii. Tato příručka rovněž obsahuje návod a příklady stanovení a vyjádření nejistoty měření v aplikacích legální metrologie, které jsou v souladu s příručkou GUM a jejími dodatky.

Návody uvedené v této příručce mají být použitelné jak pro hodnocení typu, tak pro ověřování měřidel používaných v legální metrologii. Uznáváme však, že v mnoha případech může být stanovení nejistoty měření obtížnou, časově náročnou, a tudíž nákladnou činností, proto je uveden také návod, jak lze explicitní stanovení nejistoty měření přijatelně zjednodušit, nebo se mu dokonce v určitých scénářích měření, jako např. ověření, vyhnout.

Dalším důležitým cílem této příručky je ukázat, jak lze vzít v úvahu nejistotu měření, alespoň implicitně, pro měřidla a systémy, které jsou ověřené. To je důležité, protože posouzení nejistoty je kritické pro metrologickou návaznost výsledků měření (hodnot a nejistot), které jsou získány při dalším použití ověřeného měřidla/systému.

Harmonizované metody pro vyhodnocování nejistot měření a jejich začlenění do rozhodovacích kritérií používaných pro metrologické hodnocení měřidel a systémů jsou nezbytné z důvodů, aby výsledky hodnocení zkoušek a metrologických posouzení byly mezi národními orgány odpovědnými v oblasti legální metrologie navzájem porovnatelné. Tato porovnatelnost je důležitým prvkem pro dosažení důvěry mezi orgány při vzájemném uznávání typových schválení, což vede k zamýšlenému fungování certifikačního systému OIML (OIML-CS) [6], který nahradí OIML Basic Certificate System [7] a OIML Mutual Acceptance Arrangement (MAA) [8]. Tato důvěra je obecně také nezbytná pro zajištění důvěry v procesy a certifikáty ověřování.

Záměrem je, aby návody uvedené v této příručce byly v souladu s normou ISO/IEC 17025 [9] *Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří*, pokud jde o požadavky obsahující použití nejistoty měření. Je však třeba mít na paměti, že není úmyslem pokrýt rozsahem této příručky identifikovat situace, kdy musí stát vyžadovat akreditaci svých vlastních kalibračních a zkušebních laboratoří podle ISO/IEC 17025, nebo dokonce kdy a jak má stát specifikovat požadované použití nejistoty měření ve své národní legislativě. Zkušební laboratoře využívané orgány vydávajícími certifikáty v rámci OIML-CS se musí řídit požadavky stanovenými v OIML D 30 [10] *Guide for the application of ISO/IEC 17025 to the assessment of Testing Laboratories involved in legal metrology (Návod pro aplikaci ISO/IEC 17025 pro posuzování zkušebních laboratoří zapojených do legální metrologie)*.

Jak bylo řečeno výše, dalšími tématy souvisejícími s hodnocením rizik, která **nejsou** zahrnuta do oblasti působnosti této příručky, jsou

- přejímka srovnáváním (např. porušené plomby, označení apod.),
- základní soubor (populace) měřidel ve smyslu „statistické analýzy“ a
- čistý obsah a označování hotově baleného zboží (viz OIML R 87 [11] a OIML R 79 [12]).

2 Termíny a definice

Termíny a definice v kapitole 2 jsou převzaty z následujících zdrojů: VIM3 [14], VIML [15] a JCGM 106 [5]. Většinou zde nejsou zahrnuty příklady a poznámky a v případě potřeby je třeba nahlédnout do původního zdroje. Poznámky byly v některých případech zahrnuty, pokud se mělo za to, že jsou důležité pro pochopení definice.

2.1

veličina, quantity (VIM3 1.1)

vlastnost jevu, tělesa nebo látky, která má velikost, jež může být vyjádřena jako číslo a reference

2.2

hodnota veličiny, quantity value (VIM3 1.19)

číslo a reference společně vyjadřující velikost veličiny

2.3

pravá hodnota veličiny, true quantity value (VIM3 2.11)

hodnota veličiny, která je ve shodě s definicí veličiny

2.4

měřená veličina, measurand (VIM3 2.3)

veličina, která má být měřena

2.5

model měření, measurement model (VIM3 2.48)

matematický vztah mezi všemi známými veličinami, které mají být zahrnuty v měření

2.6

funkce měření, measurement function (VIM3 2.49)

funkce veličin, jejichž hodnota je, pokud je vypočtena s použitím známých hodnot veličiny vstupních veličin modelu měření, naměřenou hodnotou veličiny výstupní veličiny modelu měření

2.7

naměřená hodnota veličiny, measured quantity value (VIM3 2.10)

hodnota veličiny reprezentující výsledek měření

2.8

nejistota měření, measurement uncertainty (VIM3 2.26)

nezáporný parametr charakterizující rozptýlení hodnot veličiny přiřazených k měřené veličině na základě použité informace

Pozn. (není obsažena ve VIM3): V Dodatku GUM JCGM 104 [4], je nejistota měření popsána jako míra toho, jak dobře se má za to, že je známa v podstatě jedinečná pravá hodnota měřené veličiny.

2.9

výsledek měření, measurement result (VIM3 2.9)

soubor hodnot veličiny přiřazený měřené veličině společně s jakoukoliv další dostupnou relevantní informací

2.10

chyba měření, measurement error (VIM3 2.16)

naměřená hodnota veličiny minus referenční hodnota veličiny

Pozn. 1: Pojem „chyba měření“ může být použit

- a) když ke vztažení existuje jediná referenční hodnota veličiny, která se vyskytuje při kalibraci provedené pomocí etalonu s naměřenou hodnotou veličiny mající zanedbatelnou nejistotu měření, nebo jestliže je dána konvenční hodnota veličiny, v případě, ve kterém je chyba měření známa, a
- b) jestliže se předpokládá, že měřená veličina je reprezentovaná jedinečnou pravou hodnotou veličiny nebo souborem pravých hodnot veličiny zanedbatelného rozpětí v případě, ve kterém je chyba měření neznámá.

Pozn. 2: Chyba měření nemá být zaměňována s výrobní chybou nebo omylem.

Pozn. 3: (není obsažena ve VIM3): Existují dva možné pohledy na „chybu“, zda by měla být definována jako „hodnota“, jak je uvedeno výše, nebo jako „veličina“, která má hodnotu. V metrologické literatuře lze nalézt obě možnosti použití termínu „chyba“. V této příručce bude používána výše uvedená definice. Všimněte si, že v [5] tomu tak není.

2.11

vychýlení měření, bias, measurement bias (VIM3 2.18)

hodnota odhadu systematické chyby měření

2.12

indikace, údaj, indication (VIM3 4.1)

hodnota veličiny poskytnutá měřidlem nebo měřicím systémem

Pozn. 1: Indikace smí být prezentována vizuální nebo akustickou formou, nebo smí být přenesena do dalšího zařízení. Indikace je často dána pozicí ukazovatele na stupnici u analogových výstupů, zobrazeným nebo vytištěným číslem u digitálních výstupů, kódovaným vzorem u kódovaných výstupů nebo přidělenou hodnotou veličiny u ztělesněné míry.

Pozn. 2: Indikace a odpovídající hodnota veličiny, která je měřena, nejsou nutně hodnotami veličin stejného druhu.

Pozn. 3: (není obsažena ve VIM3): Existují dva možné pohledy na „indikaci (údaj)“, zda by měl(a) být definován(a) jako „hodnota“, jak je uvedeno výše, nebo jako „veličina“, která má hodnotu. V metrologické literatuře lze nalézt obě možnosti použití termínu

„indikace“. V této příručce bude používána výše uvedená definice. Všimněte si, že v [5] tomu tak není.

2.13

chyba indikace, error of indication (VIML 0.04)

indikace mínus referenční hodnota veličiny

Pozn.: Tato referenční hodnota se někdy nazývá (konvenční) pravá hodnota veličiny. Viz ale také OIML V2-200:2012, 2.12, Poznámka 1).

2.14

největší dovolená chyba, maximum permissible measurement error (MPE) (VIM3 4.26)

krajní hodnota chyby měření vzhledem ke známé referenční hodnotě veličiny, dovolená specifikacemi nebo předpisy pro dané měření, měřidlo nebo měřicí systém

Pozn. 1: Termín „největší dovolené chyby“ nebo „mezí hodnoty chyby“ se obvykle používá tam, kde existují dvě krajní hodnoty.

Pozn. 2: K označení „největší dovolené chyby“ se nemá používat termín „tolerance“.

Pozn. 3 (není obsažena ve VIM3): Existují dva možné pohledy na „největší dovolenou chybu“, zda by měla být definována jako „hodnota“, jak je uvedeno výše, nebo jako „veličina“, která má hodnotu. V této příručce bude používána výše uvedená definice. Všimněte si, že v [5] tomu tak není.

2.15

největší dovolená nejistota, maximum permissible uncertainty (MPU_{E1})

největší hodnota, kterou může mít nejistota měření chyby indikace výsledku zkoušky, pro kterou lze použít přístup sdíleného rizika

2.16

metrologická návaznost, metrological traceability (VIM3 2.41)

vlastnost výsledku měření, pomocí níž může být výsledek vztažen ke stanovené referenci přes dokumentovaný nepřerušovaný řetězec kalibrací, z nichž každá se podílí svým příspěvkem na stanovené nejistotě měření

2.17

index způsobilosti měření, measurement capability index (C_m) (JCGM 106 3.3.17)

hodnota tolerančního intervalu dělená násobkem standardní nejistoty měření spojená s měřenou hodnotou vlastnosti jednotky (položky)

Pozn. 1: $C_m = MPE/U_{E1}$

2.18

riziko nesprávného přijetí, risk of false acceptance (JCGM 106 3.3.13, také zvané specifické riziko odběratele, specific consumer's risk)

pravděpodobnost, že přijatá jednotka je neshodná

2.19

riziko nesprávného zamítnutí, risk of false rejection (JCGM 106 3.3.16 také zvané specifické riziko dodavatele, **specific producer's risk**)
pravděpodobnost, že zamítnutá jednotka je shodná

2.20

sdílené riziko, shared risk

riziko, které je založeno na dohodě mezi stranami zainteresovanými na výsledku testu, že žádná ze stran nebude zvýhodněna, ani nebude poškozena, pokud se vezme v úvahu nejistota měření

2.21

ochranné pásmo, guard band (JCGM 106 3.3.11)

interval mezi toleranční mezí a příslušnou mezí přijetí

2.22

měřicí systém, measuring system (VIM3 3.2)

sestava jednoho nebo více měřidel a často dalších zařízení, včetně jakýchkoliv činidel a zdrojů, sestavená a přizpůsobená k poskytování informace používané ke generování naměřených hodnot veličiny ve specifikovaných intervalech pro veličiny specifikovaných druhů

Pozn.: Měřicí systém se může skládat i z jediného měřidla.

2.23

referenční pracovní podmínka, reference operating condition (VIM3 4.11)

pracovní podmínka předepsaná pro vyhodnocování funkčnosti měřidla nebo měřicího systému nebo pro porovnávání výsledků měření

2.24

stanovená pracovní podmínka, rated operating condition (VIM3 4.9)

pracovní podmínka, která musí být splněna během měření k zajištění, aby měřidlo nebo měřicí systém pracovaly tak, jak byly navrženy

2.25

posouzení shody, conformity assessment (VIML A.1)

prokázání, že specifikované požadavky vztahující se k produktu, procesu, systému, osobě nebo orgánu jsou splněny

2.26

typová zkouška (modelu), type (pattern) evaluation (VIML 2.04)

postup posouzení shody jednoho nebo více zkušebních vzorků identifikovaného typu (modelu) měřidla, jehož výsledkem je hodnoticí zpráva a/ nebo certifikát o hodnocení

2.27

ověřování, verification (VIM3 2.44)

poskytnutí objektivního důkazu, že daná položka splňuje specifikované požadavky

2.28

ověření měřidla, verification of a measuring instrument (VIML 2.09)

postup posouzení shody (odlišný od typové zkoušky), jehož výsledkem je připojení ověřovací značky a/ nebo vydání ověřovacího listu

2.29

kalibrace, calibration (VIM3 2.39)

činnost, která za specifikovaných podmínek v prvním kroku stanoví vztah mezi hodnotami veličiny s nejistotami měření poskytnutými etalony a odpovídajícími indikacemi s přidruženými nejistotami měření a ve druhém kroku použije tyto informace ke stanovení vztahu pro získání výsledku měření z indikace

2.30

kontrola, inspekce, inspection (VIML A.11)

zkoumání návrhu produktu, produktu, procesu nebo instalace a stanovení jejich shody se specifickými požadavky nebo na základě odborného posouzení s požadavky obecnými

Pozn.: Inspekce procesu může zahrnovat inspekci osob, vybavení, technologie a metodologie.

2.31

metrologie, metrology (VIM3 2.2)

věda o **měření** a jeho aplikaci

Metrologie zahrnuje veškeré teoretické a praktické aspekty měření, bez ohledu na **nejistotu měření** a obor použití.

2.32

legální metrologie, legal metrology (VIML 0.01)

praxe a proces uplatňování zákonné a regulační struktury a prosazování v metrologii

Pozn 1: Oblast působnosti legální metrologie se může v jednotlivých státech lišit.

Pozn 2: Legální metrologie zahrnuje

- stanovení legislativních požadavků,
- kontrola/ posuzování shody regulovaných výrobků a činností,
- dohled nad regulovanými výrobky a činnostmi a
- zajištění nezbytné infrastruktury pro návaznost regulovaných měření a měřidel na SI nebo státní etalony.

Pozn 3: Mimo oblast legální metrologie existují také předpisy týkající se přesnosti a správnosti metod měření.

2.33

etalon, standard měření, measurement standard (VIM3 5.1)

etalon, realizace definice dané **veličiny**, se stanovenou **hodnotou veličiny** a přidruženou **nejistotou měření**, používaná jako reference

Příklad 1: Etalon hmotnosti 1 kg s přidruženou **standardní nejistotou měření** 3 µg.

- Příklad 2:* Etalon odporu $100\ \Omega$ s přidruženou standardní nejistotou měření $1\ \mu\Omega$.
- Příklad 3:* Cesiový etalon frekvence s relativní standardní nejistotou měření 2×10^{-15} .
- Příklad 4:* Vodíková referenční elektroda s přidělenou hodnotou veličiny 7,072 a přidruženou standardní nejistotou měření 0,006.
- Příklad 5:* Řada referenčních roztoků kortisolu v lidské plazmě, která má certifikovanou hodnotu veličiny s nejistotou měření pro každý roztok.
- Příklad 6:* **Referenční materiál** poskytující hodnoty veličiny s nejistotami měření pro hmotnostní koncentraci každého z deseti různých proteinů.
- Pozn. 1:* „Realizace definice dané veličiny“ může být poskytována měřicím systémem, ztělesněnou mírou nebo referenčním materiálem.
- Pozn. 2:* Etalon je často používán jako reference ke stanovení **naměřených hodnot veličin** a přidružených nejistot měření pro jiné veličiny stejného **druhu**, čímž stanovuje **metrologickou návaznost kalibracími** jiných etalonů, **měřidel** nebo měřicích systémů.
- Pozn. 3:* Termín „realizace“ je zde používán v nejobecnějším významu. Označuje tři postupy „realizace“:
- První spočívá ve fyzikální realizaci **jednotky měření** od její definice a je realizací v užším slova smyslu.
 - Druhý, nazvaný „reprodukce“, nespočívá v realizaci měřicí jednotky z její definice, ale v nastavení vysoce reprodukovatelného etalonu založeného na fyzikálním jevu, jak se stává např. v případě použití frekvenčně stabilizovaného laseru ke stanovení etalonu pro metr, Josephsonova efektu pro volt nebo Hallova kvantového jevu pro ohm.
 - Třetí postup spočívá v přijetí ztělesněné míry jako etalonu. Vyskytuje se v případě etalonu 1 kg.
- Pozn. 4:* Standardní nejistota měření přidružená k etalonu je vždy složkou **kombinované standardní nejistoty měření** (viz ISO/ IEC Guide 98-3: 2008, 2.3.4) ve **výsledku měření** získaném při použití etalonu. Tato složka je často malá ve srovnání s jinými složkami kombinované standardní nejistoty.
- Pozn. 5:* Hodnota veličiny a nejistota měření musí být určeny v době, kdy je etalon používán.
- Pozn. 6:* Některé veličiny stejného druhu nebo různých druhů smějí být realizovány v jednom zařízení, které je také běžně nazýváno etalonem.
- Pozn. 7:* V anglickém jazyce se někdy místo „realizace“ používá slovo „ztělesnění“.
- Pozn. 8:* Ve vědě a technice se anglické slovo „standard“ používá přinejmenším ve dvou různých významech: jako specifikace, technické doporučení nebo obdobný normativní dokument (ve francouzštině „norme“, v češtině „norma“) a jako etalon (ve francouzštině „étalon“). Tento slovník se zabývá pouze druhým významem.
- Pozn. 9:* Termín „standard měření“ se někdy používá k označení jiných metrologických nástrojů, např. „standard software“ (viz ISO 5436-2).

2.34

přesnost měření, measurement accuracy (VIM3 2.13)

přesnost měření

těsnost shody mezi naměřenou hodnotou veličiny a pravou hodnotou veličiny měřené veličiny

Pozn. 1: Pojem „přesnost měření“ není veličinou a není dán číselnou hodnotou veličiny. Měření je prohlášeno za přesnější, když nabízí menší chybu měření.

Pozn. 2: Termín „přesnost měření“ nemá být používán pro pravdivost měření a termín preciznost měření nemá být používán pro „přesnost měření“, která se nicméně vztahuje k oběma těmto pojmům.

Pozn. 3: „Přesnost měření“ je někdy chápána jako těsnost shody mezi naměřenými hodnotami veličiny, které jsou přiřazeny měřené veličině.

2.35

toleranční mez, tolerance limit (JCGM 106 3.3.4)

stanovená horní nebo dolní mezní přípustná hodnota vlastnosti

2.36

toleranční interval, tolerance (JCGM 106 3.3.5)

rozdíl mezi horní mezní hodnotou a dolní mezní hodnotou

2.a Zkratky a symboly

BIPM	International Bureau of Weights and Measures, Mezinárodní výbor pro váhy a míry
E_I	Error of Indication, chyba indikace
f_{E_I}	$= 1/TUR$
f_S	$= 1/TAR$
GUM	Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement [1]
IEC	International Electrotechnical Commission, Mezinárodní elektrotechnická komise
IFCC	International Federation of Clinical Chemistry, Mezinárodní federace klinické chemie a laboratorní medicíny
ILAC	International Laboratory Accreditation Cooperation, Mezinárodní spolupráce v oblasti akreditace laboratoří
ISO	International Organization for Standardization, Mezinárodní organizace pro normalizaci
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry, Mezinárodní unie pro čistou a užitou chemii
IUPAP	International Union of Pure and Applied Physics, Mezinárodní unie pro čistou a aplikovanou fyziku
IUT	Instrument Under Test, testované měřidlo
JCGM	Joint Committee for Guides in Metrology, Společný výbor pro příručky v metrologii
MAA	OIML Mutual Acceptance Arrangement, Ujednání o vzájemném uznávání v rámci OIML
MPE	Maximum Permissible Error, největší dovolená chyba
MPU	Maximum Permissible Uncertainty, největší dovolená nejistota
OIML	International Organization of Legal Metrology, Mezinárodní organizace pro legální metrologii
p_n	Probability of Non-Conformance, pravděpodobnost neshody
p_{fa}	Probability (Risk) of False Acceptance, pravděpodobnost (riziko) nesprávného přijetí
p_{fr}	Probability (Risk) of False Rejection, pravděpodobnost (riziko) nesprávného zamítnutí
PDF	Probability Density Function, funkce hustoty pravděpodobnosti
SC	OIML Technical Subcommittee, technický podvýbor OIML
TAR	Test Accuracy Ratio, poměr přesnosti zkoušky
TC	OIML Technical Committee, technický výbor OIML
TUR	Test Uncertainty Ratio, poměr nejistot při zkoušce
u_{EI}	Standard Measurement Uncertainty of Error of Indication, standardní nejistota (směrodatná odchylka) chyby indikace
u_s	Standard Measurement Uncertainty of Measurement Standard (or System), standardní nejistota (směrodatná odchylka) etalonu (nebo systému)
u_I	Standard Measurement Uncertainty of Indication, standardní nejistota (směrodatná odchylka) indikace
u_{rep}	Standard Measurement Uncertainty associated with Repeatability, standardní nejistota spojená s opakovatelností
u_{roc}	Standard Measurement Uncertainty associated with Rated Operating Conditions, standardní nejistota spojená se jmenovitými provozními podmínkami
VIM	International Vocabulary of Metrology, Mezinárodní slovník terminologie v metrologii
VIML	International Vocabulary of Legal Metrology, Mezinárodní slovník terminologie v legální metrologii
Z-table	Standard Normal Distribution Table, tabulka distribuční funkce normovaného normálního rozdělení

3 Úvod

Koncept „nejistoty měření“ tak, jak je představen v GUM, přinesl do moderní metrologie revoluci. Zohledňování nejistoty měření je široce uznáváno, jak v metrologii, tak v oblasti akreditace laboratoří, jako zásadní pro metrologickou návaznost výsledků měření.

Přibývá literatury, která přináší metody výpočtu a použití nejistot měření pro různé aplikace, včetně rozhodování v oblasti zkoušení a ověřování v legální metrologii. Některé z těchto metod jsou složitější a časově náročnější než jiné. Zatímco explicitní, podrobné stanovení a použití nejistoty měření je obvykle vhodné pro prostředí kalibrační nebo zkušební laboratoře, mnohá měření prováděná v rámci činností legální metrologie neprobíhají v laboratoři. Spíše jsou prováděna mimo laboratorní prostředí, které má umožnit „rychlá a snadná“ rozhodnutí vyhovět – nevyhovět, a tak metody pro stanovení a použití nejistoty měření (někdy pouze implicitně) mohou být důležité pro efektivitu a praktičnost těchto činností (viz 6).

3.1 Charakterizace měřidel a systémů

Legální metrologie je praxe a proces aplikace zákonné a regulační struktury a prosazování na metrologii [15]. Významnou činností v legální metrologii je charakterizace měřidel a systémů, které jsou využívány pro veřejný prospěch v oblastech jako je směna zboží, veřejné zdraví a bezpečnost a ochrana životního prostředí. To zahrnuje klasifikaci (roztřídění) a hodnocení měřidel a návrhů systémů (nebo typů), jakož i kalibraci nebo ověřování fungování jednotlivých měřidel a systémů, a to jak bezprostředně po jejich výrobě, tak i po jejich instalaci a použití mimo prostředí laboratoře.

Posouzením shody se v kontextu legální metrologie rozumí posouzení konstrukce (návrhu) a fungování měřidel a systémů podle technických a metrologických požadavků a specifikací stanovených v dokumentaci z hlediska legální metrologie. Zatímco jednotlivé státy a vnitrostátní legislativa mohou stanovit své vlastní požadavky, jedním z klíčových cílů OIML je poskytovat směrodatné požadavky v publikacích OIML, zejména v doporučeních OIML, které mohou být převzaty a používány celosvětově, buď jako celek, nebo alespoň jako základ pro harmonizované požadavky legální metrologie.

3.2 Rozhodování o shodě s použitím nejistoty měření

Při zahrnutí nejistoty měření se rozhodování o shodě v legální metrologii stává složitějším, komplexnějším, protože do úvahy vstupují koncepty pravděpodobnost a riziko (viz 5.2 a 5.3). Zejména je nutné uvažovat z hlediska stupně důvěry (nebo úrovně spolehlivosti, vyjádřené jako pravděpodobnost), že zásadně jedinečná pravá hodnota (dále označovaná jako „pravá hodnota“) patrně konstantní systematické chyby indikace (dále označované jen jako „chyba indikace“) ve skutečnosti leží mimo stanovené meze největší dovolené chyby (MPE), i když naměřená hodnota leží v mezích MPE, a naopak (viz příloha A). Pro rozhodování, zda je výsledek konkrétní zkouška považován za „vyhovující“ či nikoli, mohou být stanovena různá „rozhodovací pravidla“ na základě konkrétní pravděpodobnosti a lze vypočítat související

„rizika“ přijetí nesprávného rozhodnutí (viz 5.2, příloha D). Nicméně pomocí metod, které budou popsány v této příručce (viz 6), bude možné nutnost explicitního výpočtu pravděpodobnosti a rizik pro mnoho rozhodovacích scénářů založených na měření minimalizovat nebo dokonce eliminovat, a přitom stále zohledňovat nejistotu měření.

3.3 Chyba versus nejistota

Nejenže začlenění nejistoty měření komplikuje rozhodování při posuzování shody, ale také jazyk používaný k přijímání takových rozhodnutí může být někdy matoucí a dokonce se zdá být rozporuplný. Nejpozoruhodnější je, že zatímco pojmy „chyba“ a „nejistota“ sdílejí určitou podobnost v tom, že oba souvisí s kvalitou měření, ve skutečnosti se jedná o výrazně odlišné pojmy. Možná ironicky, „chyba indikace“ je něco, co lze samo o sobě změřit, a má tedy hodnotu s přidruženou nejistotou měření. Tento rozdíl mezi „chybou“ a „nejistotou“ a tím, jak koexistují v legální metrologii (a dalších oblastech metrologie), je podrobněji zpracován v [16] a v příloze A.

3.4 Ověření zahrnující nejistotu měření

Zatímco koncept nejistoty měření, jak je rozpracován v GUM, je relativně nový (asi 20 let), ověřování v legální metrologii vždy zahrnovalo určitý pojem nejistoty měření v tom smyslu, že největší dovolené chyby (MPE) byly obvykle stanoveny tak, aby zohledňovaly věrohodnou nejistotu měření, alespoň implicitně. Jedním z příkladů je praxe zavádění konzervativních (provozních) MPE za účelem vyvození „bezpečných“ závěrů ohledně toho, zda jsou naměřené chyby indikace v přijatelných mezích. Praxe stanovení zlomku, jako je $1/3$ nebo $1/5$, pro maximální povolený poměr chyby (ve skutečnosti nejistoty) standardního (referenčního) měřidla k MPE je dalším příkladem alespoň implicitního zohlednění nejistoty měření. Jedním z důležitých témat pojednaných v této příručce je, kdy a jak implicitně, spíše než explicitně, začlenit nejistotu měření do rozhodování o shodě pro scénáře zkoušení a ověřování, aby bylo možné stanovit a zachovat návaznost měření (viz 6) při následném použití měřidla nebo systému.

3.5 MPE a nejistota měření

Úvahy o nejistotě měření vstupují také do stanovení vhodných MPE pro dané scénáře zkoušení. Náklady pro spotřebitele, prodejce nebo výrobce spojené se stanovením MPE na zbytečně velkou nebo malou hodnotu, lze snížit tím, že se při prvním stanovení MPE zohlední pravděpodobná nejistota měření. Nastavení velmi malých MPE může být nákladné pro výrobce měřidla, který bude muset navrhnout a zkonstruovat nákladnější měřidlo, aby splňovalo přísnější požadavky pro dané použití, a s největší pravděpodobností přenesl dodatečné náklady na spotřebitele. Zvážením pravděpodobných úrovní nejistoty měření pro různé aplikace a použití měřidel lze MPE nastavit tak, aby z hlediska nákladů přinášely přijatelné úrovně rizika efektivněji. Kapitola 7 stručně pojednává o možnostech, jak vzít v úvahu nejistotu měření při

předepisování MPE v doporučeních OIML a dalších publikacích OIML (viz také OIML R 34 *Accuracy classes of measuring instruments, Třídy přesnosti měřidel* [13]).

Pro usnadnění jsou v kapitole 8 uvedeny možnosti obsahující konkrétní znění textu týkajícího se explicitního a implicitního začlenění nejistoty měření, které by měly být po zvážení zahrnuty do doporučení OIML nebo jiných publikací OIML.

4 Základní úvahy týkající se rozhodování při zkoušení shody a v oblasti nejistot měření

Jednou z klíčových rolí legální metrologie je hodnocení fungování a shody návrhů (resp. typů) měřidel a systémů (hodnocení typu), jakož i funkčnosti jednotlivých měřidel a systémů (počáteční nebo následné ověření), pro různé aplikace podléhající regulaci. Základní druh zkoušky, který se používá k provádění takových hodnocení, zahrnuje porovnání „chyby indikace“ s „největší dovolenou chybou“ (MPE), která je pro konkrétní aplikaci specifikována. Chyba indikace (označovaná E_I) je typicky definována jako rozdíl mezi hodnotou indikovanou měřidlem nebo systémem získanou při měření měřené veličiny a pravou, „skutečnou“, hodnotou této měřené veličiny. Vzhledem k tomu, že nelze provést „dokonalé“ měření, a nelze tedy znát „pravou“ hodnotu měřené veličiny, pracovní se považuje za chybu indikace rozdíl mezi indikovanou hodnotou (Y_I) měřidla, resp. systému získanou při měření měřené veličiny a hodnotou (Y_S) stejné měřené veličiny, jaká byla určena při použití etalonu. Matematicky vyjádřeno:

$$E_I = Y_I - Y_S \quad (4.1)$$

Všimněte si, že historicky se v legální metrologii termín „pravá hodnota“ obvykle nepoužívá ve smyslu zde uvedeném, ale spíše se používá k označení hodnoty spojené s etalonem, který se používá v procesu zkoušení měřidla. Tento druhý význam **není** významem termínu „pravá“ hodnota v této příručce; viz příloha A a JCGM 106 [5] pro více podrobností.

Nejčastěji je Y_S indikovaná hodnota získaná přímo z indikace etalonu nebo z kalibračního certifikátu etalonu.

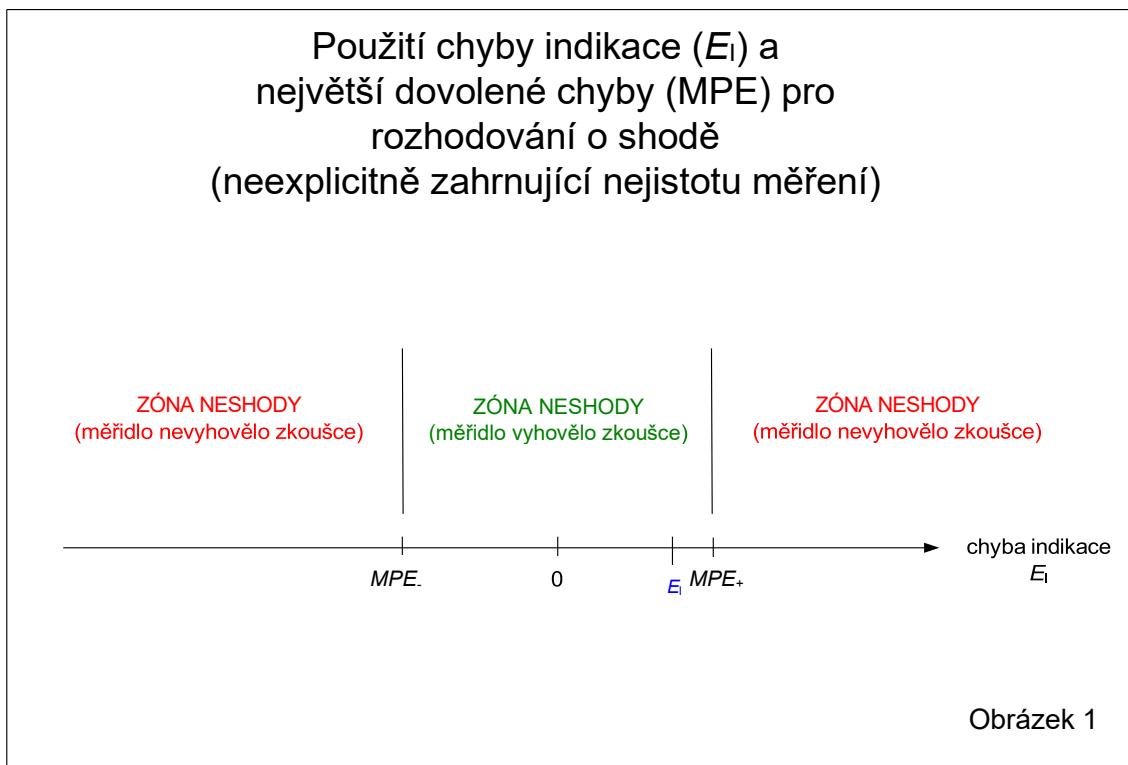
U složitějších etalonů (nebo systémů) lze Y_S určit pomocí „modelu měření“ [1][2][3][4], který vztahuje hodnotu měřené veličiny k hodnotám (X_i) „vstupních veličin v modelu měření“ [4] (to znamená, že Y_S závisí na hodnotách X_i nebo je funkcí (f) hodnot X_i):

$$Y_S = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (4.2)$$

V závislosti na druhu prováděné zkoušky (hodnocení typu, prvotní ověření nebo následné ověření) mohou existovat velké rozdíly v provádění zkoušky. Specifikace konkrétní zkoušky může zahrnovat počet jednotlivých chyb indikace, které by měly být získány (opakovanými měřeními), a kdy a jak by měly být provozní podmínky měřidla kontrolovány (pokud vůbec). Společné pro všechny kategorie zkoušek však je, že rozhodnutí o shodě se nakonec přijímají na základě výsledků jedné nebo více zkoušek, které porovnávají naměřené chyby indikace s MPE.

Porovnání naměřené chyby indikace s MPE pro účely rozhodování o shodě je schematicky znázorněno na obrázku 1. Vodorovná osa představuje možné hodnoty chyby indikace E_I . Horní a spodní MPE, označované MPE_+ a MPE_- , jsou zobrazeny jako symetrické kolem 0, ale nemusí tomu nutně tak být vždy. Pokud má být k rozhodnutí o shodě použita pouze jedna naměřená chyba indikace, pak pokud tato jediná naměřená chyba indikace leží v intervalu definovaném MPE (označeném jako „zóna shody“ na obrázku 1), má se za to, že měřidlo vyhovělo v dané konkrétní zkoušce (jak je znázorněno na obrázku 1). V opačném případě se má za to, že měřidlo v této zkoušce nevyhovělo. Všimněte si, že nejistota měření není v této diskusi ani na obrázku 1

výslovně uvažována, nicméně se předpokládá, že MPE byly stanoveny na základě pravděpodobných úrovní nejistoty měření pro konkrétní typ měření.



Všimněte si, že v některých doporučeních OIML, aby se zohlednily náhodné odchylky v naměřených hodnotách chyby indikace, jsou zkoušky strukturovány tak, že jednotlivá rozhodnutí o shodě nejsou založena na jediné naměřené chybě indikace, ale spíše jsou založena na získání dvou nebo více chyb indikace a použití průměrné hodnoty jako základu pro rozhodnutí o shodě. To je znázorněno použitím symbolu $\bar{E}_I$ na obrázku 1, kde by se výsledek zkoušky považoval za vyhovující, protože $\bar{E}_I$ leží v zóně shody. Další variantou je získat dvě nebo více naměřených chyb indikace a pak vyžadovat, aby určitá část z nich (řekněme dvě ze tří) ležela v zóně shody. Když se vezme v úvahu nejistota měření, jak bude ukázáno v kapitole 5, rozdíly mezi těmito způsoby rozhodování o shodě nemusí vést k různým výsledkům rozhodování, protože náhodné odchylky v měření jsou zahrnuty do nejistoty měření.

5 Rozhodnutí při zkoušení shody, která explicitně zahrnují nejistotu měření

Jak je uvedeno v Úvodu, začlenění pojmu nejistoty měření do rozhodování o zkoušení shody v legální metrologii vyžaduje jiný způsob uvažování a vyjadřování se o takových rozhodnutích, než je popsán v kapitole 4 (viz příloha A a JCGM 106 [5]). Namísto toho, abychom mohli s konečnou platností prohlásit, že měřidlo splňuje stanovené požadavky na MPE, a tak prošlo konkrétní zkouškou shody, lze pouze určit míru důvěry (nebo pravděpodobnost, vyjádřenou jako úroveň spolehlivosti), že měřidlo vyhovuje všem požadavkům na MPE. Nedílnou součástí takového pravděpodobnostního přístupu je, že při konečném rozhodování vyhověl – nevyhověl by měla být zvážena určitá rizika (např. riziko, že rozhodnutí je nesprávné). Nejistota měření se používá v procesu stanovení kvantitativních hodnot takových pravděpodobností a rizik.

Předpokládá se, že čtenář této příručky je do určité míry obeznámen s konceptem nejistoty měření a s postupem GUM pro její výpočet. Pro ty však, kteří obeznámeni nejsou, jsou příklady uvedeny v příloze C. K dispozici je také Dodatek GUM [2], který pojednává o jiném přístupu k výpočtu nejistoty měření založeném na metodě Monte Carlo.

ISO/IEC 17025:2005 [9] se stala široce uznávanou normou používanou mezinárodní komunitou akreditačních laboratoří pro hodnocení způsobilosti kalibračních a zkušebních laboratoří. Tato norma uvádí, že „[5.4.6.2] Zkušební laboratoře musí mít a používat postupy pro odhad nejistoty měření.“ a dále „[5.4.6.3] Při odhadování nejistoty měření musí být za použití vhodných metod analýzy vzaty v úvahu všechny složky nejistoty, které jsou v dané situaci důležité.“

Pozn.: Viz ISO/IEC 17025:2005, 5.4.6.2, Pozn. 2: V těch případech, kdy jsou v dobře zvládnuté zkušební metodě specifikovány meze hodnot hlavních zdrojů nejistot měření a kdy je specifikován způsob uvádění vypočtených výsledků, se předpokládá, že laboratoř naplnila požadavky tohoto článku dodržením zkušební metody a instrukcí týkajících se uvádění výsledků (viz 5.10).

Kapitola 5 se zaměřuje na explicitní použití nejistoty měření pro účely rozhodování o shodě, jako je to v případech, kdy se měření provádějí v laboratorním prostředí. Kapitola 6 se zaměřuje na implicitní použití nejistoty měření k přijímání rozhodnutí o shodě, například když se měření provádějí mimo laboratorní prostředí, nebo když se používá systém měření, u něhož by bylo obtížné určit nejistotu výsledků explicitně. Je však důležité si uvědomit, že s nejistotou měření se počítá v obou prostředích měření, takže výsledky měření získané při dalším použití testovaných měřidel tak mohou mít návaznost.

Nezávisle na měření použitým v procesu zkoušení pro účely hodnocení typu specifikovaném v doporučení OIML (nebo jiné publikaci OIML), by měly být v publikacích OIML poskytnuty návody na praktické a účinné metody, které lze použít k výpočtu nejistoty měření pro model (modely) měření pro příslušný druh měřidla (měřidel), kterého se týká dané doporučení.

V publikacích OIML by měl být zejména uveden návod, jak popsat zkušební zařízení (včetně etalonu a všech dalších měřidel) a jak nastavit model měření (podle rovnice 4.2) a identifikovat vstupní veličiny. Aby bylo možné učinit závěr vyhověl nebo nevyhověl pro konkrétní měřidlo nebo systém, může být nutné odděleně vést záznamy o nejistotách vyplývajících z vlivů

působících na zkušební zařízení a nejistotách způsobených ovlivňujícími veličinami působícími na zkoušené měřidlo nebo systém. Pokud tomu tak není, mohlo by dojít k nesprávnému zamítnutí měřidla, které je v pořádku, na základě kritéria nejistoty.

V publikacích OIML by dále měly být uvedeny návody k metodám, které lze použít k identifikaci nebo výpočtu standardní nejistoty měření (u_s) spojené se zkušebním zařízením (včetně etalonu a všech dalších měřidel). V ideálním případě lze nejistoty spojené s ovlivňujícími veličinami působícími na zkušební zařízení udržovat malé ve vztahu k největším dovoleným chybám (MPE).

Podobně by měly být v publikacích OIML poskytnuty návody k metodám, které lze použít k výpočtu standardní nejistoty (u_I) spojené s indikovanou hodnotou měřené veličiny (včetně složek nejistoty v důsledku rozlišení indikátoru, jitteru atd.) a standardní nejistoty (u_{rep}) spojené s opakovatelností nebo reprodukovatelností jak zkoušeného měřidla, tak měřicího systému a/nebo postupu.

Pokud se zjistí, že se indikace měřidla mění v rozsahu jmenovitých provozních podmínek měřidla (pro daný vstup měřidla), pak by měla být zahrnuta složka nejistoty měření (u_{roc}), která by to postihovala.

A konečně by v publikacích OIML měl být uveden návod, jak kombinovat tyto složky nejistoty měření za účelem výpočtu kombinované standardní nejistoty (u_{E_I}) spojené s chybou indikace (na základě použití rovnice 4.1).

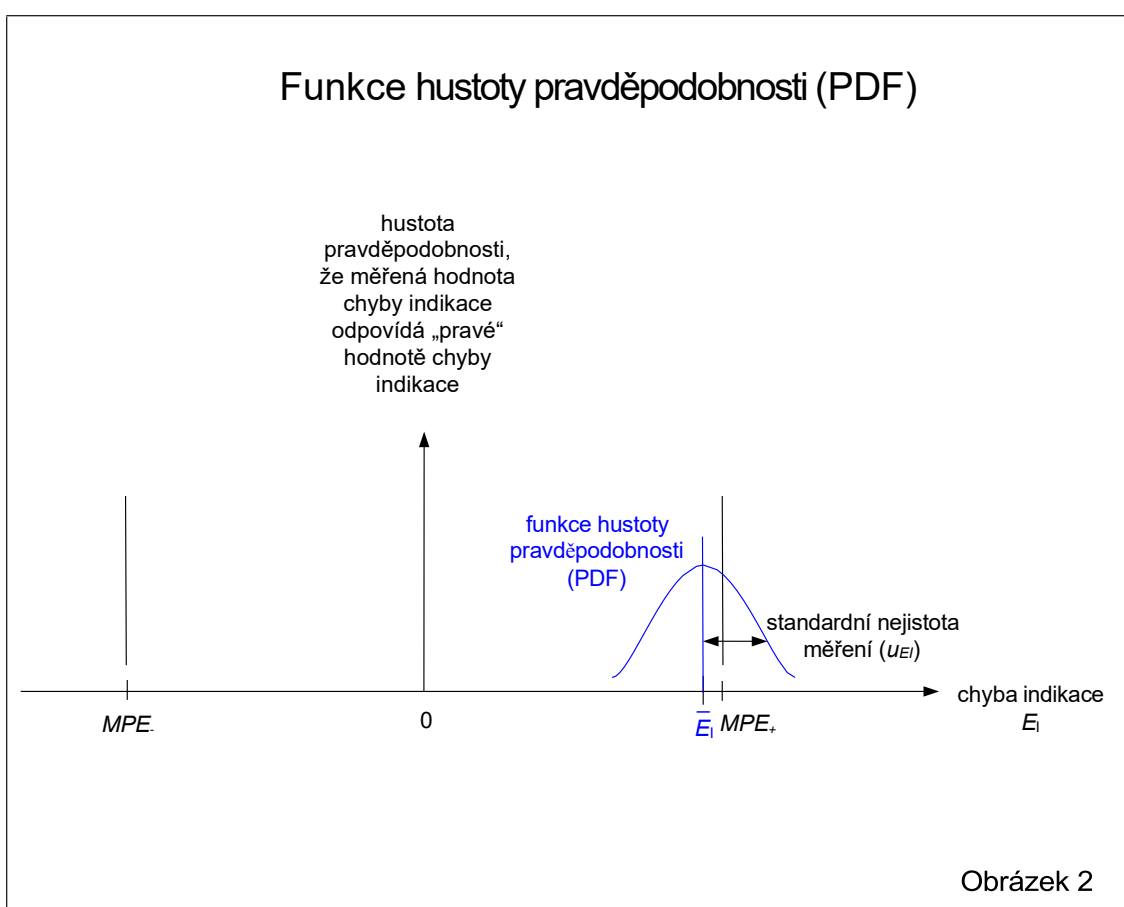
Všechny tyto návody by měly být založeny na metodách GUM a jeho dodatků a být s nimi v souladu. Příklady metod konzistentních s GUM pro tvorbu modelu měření, identifikaci a odhad jednotlivých složek nejistoty měření a konečně výpočtu kombinovaných standardních a rozšířených nejistot spojených s chybou indikace jsou uvedeny v příloze C.

Je důležité poznamenat, že v případech, kdy je provedeno více měření určité chyby indikace za účelem posouzení opakovatelnosti nebo reprodukovatelnosti procesu měření, není nutné posuzovat nejistotu měření spojenou s každou z jednotlivých naměřených hodnot chyby indikace. Spíše lze střední hodnotu chyby indikace ($\bar{E}_I$) vypočítat ze souboru jednotlivých naměřených hodnot a použít jako „naměřenou“ chybu indikace; směrodatnou odchylku průměru souboru jednotlivých hodnot (tj. $S/n^{1/2}$, kde S je experimentální směrodatná odchylka a n je počet naměřených hodnot v souboru) lze použít jako složku nejistoty měření, která by měla být spojena se střední hodnotou. Doporučení OIML (a další publikace OIML) by však měly zdůraznit, že nejistota měření založená na náhodných vlivech sama o sobě není celá nejistota měření a že musí být zahrnuty i další složky nejistoty měření, například pocházející ze systematických vlivů.

Kapitoly 5.1 až 5.3.6 pojednávají o způsobech, kterými může a měla by být použita vypočtená kombinovaná standardní nejistota měření spojená s chybou indikace (u_{E_I}) za účelem rozhodování o shodě pro zkoušená měřidla/systémy. Další možnosti a podrobnosti viz JCGM 106 [5].

5.1 Funkce hustoty pravděpodobnosti (PDF)

Koncept nejistoty měření spočívá v tom, že „pravá“ hodnota veličiny, která má být měřena, nemůže být známa, protože není možné zjistit, zda při provádění měření nedošlo k chybě. A i kdyby bylo známo, že při provádění měření nedošlo k žádným chybám, prakticky všechna měření mají některé související neznámé systematické aspekty a náhodné variace, které nejsou plně kontrolovány nebo pochopeny. V souladu s tím bychom měli hovořit v pojmech znalosti pravé hodnoty měřené veličiny na pravděpodobnostním základě, kdy se předpokládá, že některé hodnoty s větší pravděpodobností než jiné odpovídají pravé hodnotě měřené veličiny. Jedním ze způsobů, jak na to nahlížet, je, že lze zkonstruovat funkci, známou jako funkce hustoty pravděpodobnosti, která dává určitý stupeň důvěry (úroveň spolehlivosti) ve znalost pravé hodnoty měřené veličiny.



Koncept funkce hustoty pravděpodobnosti (PDF) je schematicky znázorněn na obrázku 2. Stejně jako na obrázku 1 představuje vodorovná osa možné hodnoty chyby indikace E_I . Na obrázku 2 byla přidána svislá osa, která představuje možné hustoty pravděpodobnosti, že pravá hodnota chyby indikace jednotlivého měřidla leží v nekonečně malé oblasti kolem konkrétní hodnoty chyby indikace. Pravděpodobnost (nebo míra důvěry, vyjádřená jako úroveň spolehlivosti, založená na předpokladu, že nedošlo k žádným chybám), že pravá hodnota chyby indikace leží někde na vodorovné ose mezi dvěma specifikovanými hodnotami chyby indikace,

lze získat matematickou integrací plochy pod křivkou funkce hustoty pravděpodobnosti ohraničenou dvěma danými hodnotami.

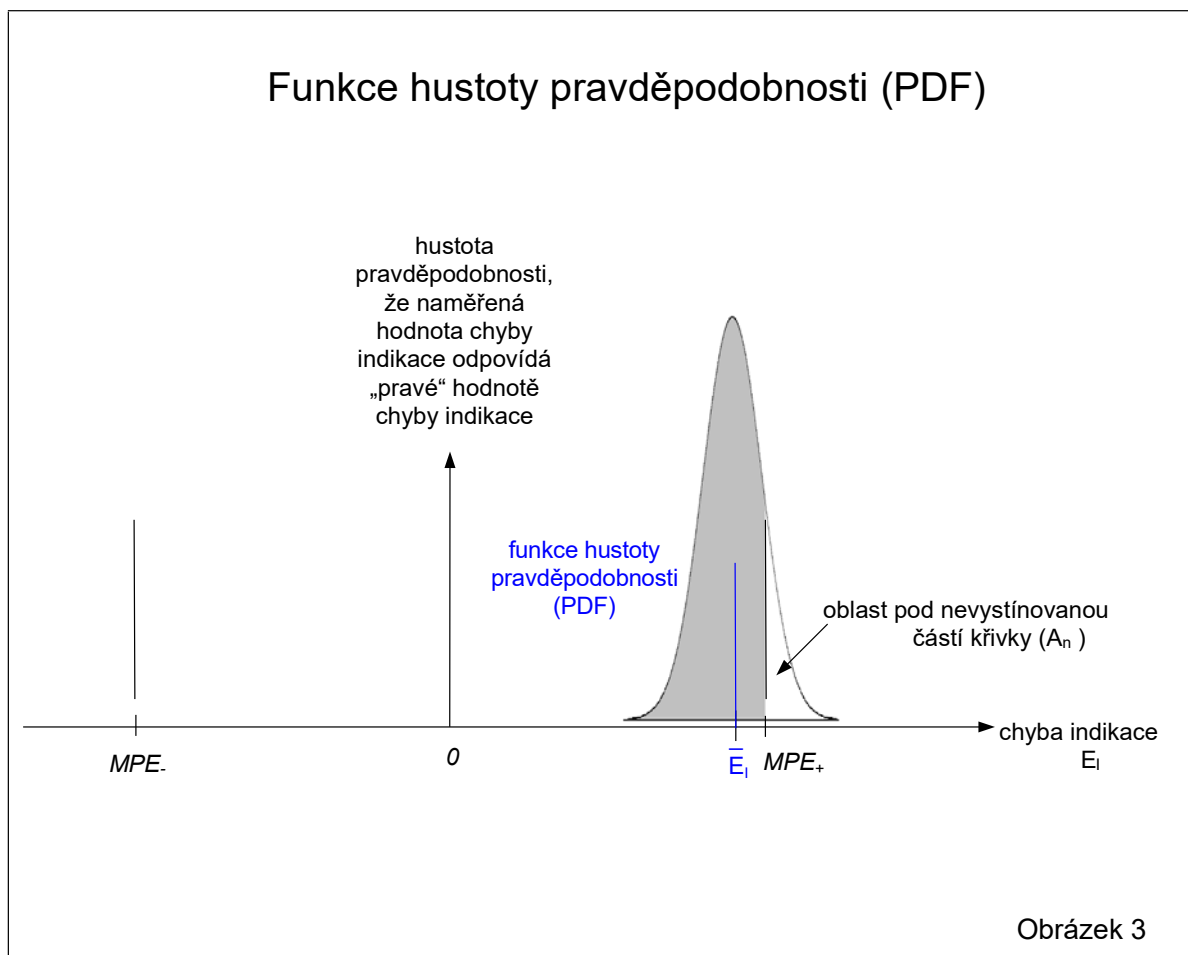
Křivka PDF je zobrazena v gaussovském tvaru, který se běžně používá (ale ne vždy; např. viz [2]). Je uvedena střední hodnota ($\bar{E}_I$) křivky a standardní nejistota měření (označená u_{E_I}). Křivka je normalizována tak, že celková plocha pod křivkou je 1, což znamená, že existuje 100% pravděpodobnost nalezení pravé hodnoty chyby indikace někde podél vodorovné osy. I když tomu tak musí být, stojí za zmínku, že „pravá“ hodnota chyby indikace může být ve skutečnosti velmi vzdálená od střední hodnoty křivky PDF, například když dojde k chybě při provádění měření. Všimněte si, že u gaussovske PDF je pravděpodobnost (stupeň důvěry nebo úroveň spolehlivosti), že pravá hodnota chyby indikace v intervalu $\bar{E}_I \pm u_{E_I}$ je 68 %, a v intervalu $\bar{E}_I \pm 2 \cdot u_{E_I}$ je 95 %. Obecně lze interval zapsat $\bar{E}_I \pm U_{E_I}$, kde $U_{E_I} (= k \cdot u_{E_I})$ se nazývá rozšířená nejistota měření a k se nazývá koeficient pokrytí.

Je také vhodné znovu zdůraznit, že PDF kóduje všechny známé informace o měřené veličině, včetně systematických i náhodných vlivů. Zatímco křivka přizpůsobená samotnému histogramu náhodných fluktuací má často gaussovský tvar, PDF není tak přizpůsobena histogramu, ale obsahuje další informace pocházející ze systematických vlivů při měření.

5.2 Pravděpodobnost shody

Obrázek 2 lze použít k demonstraci důležitých rozdílů při rozhodování o shodě pomocí klasického přístupu, který je diskutován v kapitole 4, a pomocí přístupu k nejistotě podle GUM. Při použití klasického přístupu, vzhledem k tomu, že střední hodnota ($\bar{E}_I$) chyby indikace je v oblasti shody, jak je definováno na obrázku 1, bude měřidlo považováno za vyhovující v konkrétní zkoušce znázorněné na obrázku 2.

Při použití přístupu založeného na nejistotě a při zohlednění nejistoty měření pro konkrétní zkoušku je na obrázku 2 vidět, že pod křivkou PDF je výrazná oblast, která leží mimo zónu shody (tj. napravo od MPE_+), což znamená, že existuje značná pravděpodobnost (stupeň důvěry nebo úroveň spolehlivosti), že pravá hodnota chyby indikace leží mimo zónu shody, i když střední hodnota ($\bar{E}_I$) chyby indikace se nachází uvnitř oblasti shody.



Pokud je oblast pod křivkou PDF, která leží mimo zónu shody (označená nevystínovanou oblastí pod Gaussovou křivkou na obrázku 3), označena A_n (kde „n“ znamená „neshoda“), pak pravděpodobnost p_n , že pravá hodnota chyby indikace je mimo zónu shody, a tedy že měřidlo nesplňuje požadavek na MPE, je dána $p_n = A_n$, nebo p_n (v %) = $100 \cdot A_n$. Rozhodnutí o tom, zda je měřidlo považováno za vyhovující v konkrétní zkoušce či nikoli, by pak mohlo záviset na tom, zda byly pro tento druh zkoušky splněny přijatelné úrovně pravděpodobnosti (rizika). Například měřidlo lze považovat za vyhovující v konkrétní zkoušce, pokud existuje méně než 10 % pravděpodobnost, že nesplňuje, což znamená $p_n = A_n < 0.1 = 10 \%$.

Všimněte si, že pokud je střední hodnota chyby indikace ($\bar{E}_I$) jen mírně mimo zónu shody, stále může existovat významná pravděpodobnost, že pravá hodnota chyby indikace leží v zóně shody. Ačkoli by měřidlo v konkrétní zkoušce nevyhovělo, pokud by se nebrala v úvahu nejistota měření, přesto by v tomto případě mohl být výsledkem zkoušky závěr „vyhověl“ při zohlednění přijatelné úrovně rizika a strany, která riziko nese. Pokud je $\bar{E}_I$ přesně rovno MPE_+ , pak je 50% pravděpodobnost, že chyba indikace leží v zóně shody a 50% pravděpodobnost, že je mimo zónu shody. Otázka hodnocení rizik spolu s pravidly pro rozhodování o tom, zda výsledkem dané zkoušky je „vyhověl“ nebo „nevyhověl“, bude řešena v další kapitole.

Konstruování funkcí PDF a výpočet plochy pod křivkou PDF je obecně netriviální záležitostí, a proto by měla být jakákoli rada a pomoc, která je v tomto ohledu poskytnuta v doporučení (doporučeních), během jeho vývoje pečlivě zohledněna. Pokud lze PDF považovat za

gaussovskou, existuje vhodná metoda, která zahrnuje to, co je známé jako „tabulka distribuční funkce normovaného normálního rozdělení“ (nebo Z-tabulka) pro výpočet plochy pod křivkou pro dané $\bar{E}_1$, MPE_+ a u_{E_1} [19]. Příloha B podává informace o tabulce distribuční funkce normovaného normálního rozdělení spolu s příkladem jejího použití.

5.3 „Rizika“ a „rozhodovací pravidla“ spojená s rozhodováním o shodě

Jak již bylo diskutováno, vzhledem k pravděpodobnostní povaze přístupu GUM k nejistotě měření s sebou rozhodnutí „vyhověl – nevyhověl“ na základě toho, zda naměřená hodnota chyby indikace leží v oblasti ohraničené MPE, přináší možnost (nebo riziko), že bylo učiněno nesprávné rozhodnutí. To znamená, že pravá hodnota chyby indikace může ve skutečnosti ležet v oblasti ohraničené MPE, která je odlišná od oblasti, kde leží naměřená hodnota. Tato kapitola pojednává o typech rizik spojených se začleněním nejistoty měření do rozhodovacího procesu a o pravidlech, která lze použít při rozhodování o shodě při zkoušení v legální metrologii. Tato pravidla by měla být zvážena pro případné začlenění do doporučení OIML a dalších publikací OIML při jejich revizi nebo vývoji.

Různým typům rizik spojeným s rozhodováním o shodě u zkoušek, které jsou založeny na splnění požadavků na toleranční intervaly, jako jsou MPE, byly přiřazeny různé způsoby zpracování a názvy [5][19]. Stručně řečeno, existují tři základní typy rizik: 1) riziko nesprávného přijetí zkoušky, 2) riziko nesprávného zamítnutí výsledku zkoušky a 3) sdílené riziko.

5.3.1 Riziko a rozhodovací pravidlo pro nesprávné přijetí

Riziko nesprávného přijetí znamená, že zkouška je považována za úspěšnou, ale ve skutečnosti nemusel být splněn požadavek na MPE. V tomto případě leží naměřená hodnota chyby indikace v oblasti ohraničené MPE, ale PDF zasahuje do oblasti mimo oblast ohraničenou MPE, jak je znázorněno na obrázku 3, což znamená, že se předpokládá, že pravá hodnota chyby indikace může ležet mimo oblast ohraničenou MPE. Je třeba si uvědomit, že riziko nesprávného přijetí podstupuje hodnotitel, nebo uživatel měřidla nebo systému. Riziko spočívá v tom, že měřidlo nebo systém nefunguje „v rámci specifikace“, i když výsledek zkoušky říká, že ano. Hodnota rizika nesprávného přijetí se vypočítá jako plocha A_n pod křivkou PDF, která je mimo oblast ohraničenou MPE, což je nevystínovaná plocha pod křivkou na obrázku 3.

Možným rozhodovacím pravidlem, které může být spojeno se zkouškou v legální metrologii, je, že pravděpodobnost nebo riziko nesprávného přijetí (p_{fa}) bude menší než určitá stanovená hodnota (například 5 %). Toto riziko by zvýhodnilo hodnotitele nebo uživatele měřidla/systému na úkor výrobce nebo prodejce měřidla/systému, protože naměřená hodnota chyby indikace $\bar{E}_1$ by ležela uvnitř oblasti ohraničené MPE, a dále, obvykle by ani nemohla ležet moc blízko příslušné hranici MPE, pokud má být splněno rozhodovací pravidlo (viz příklad v příloze B).

5.3.2 Riziko a rozhodovací pravidlo pro nesprávné zamítnutí

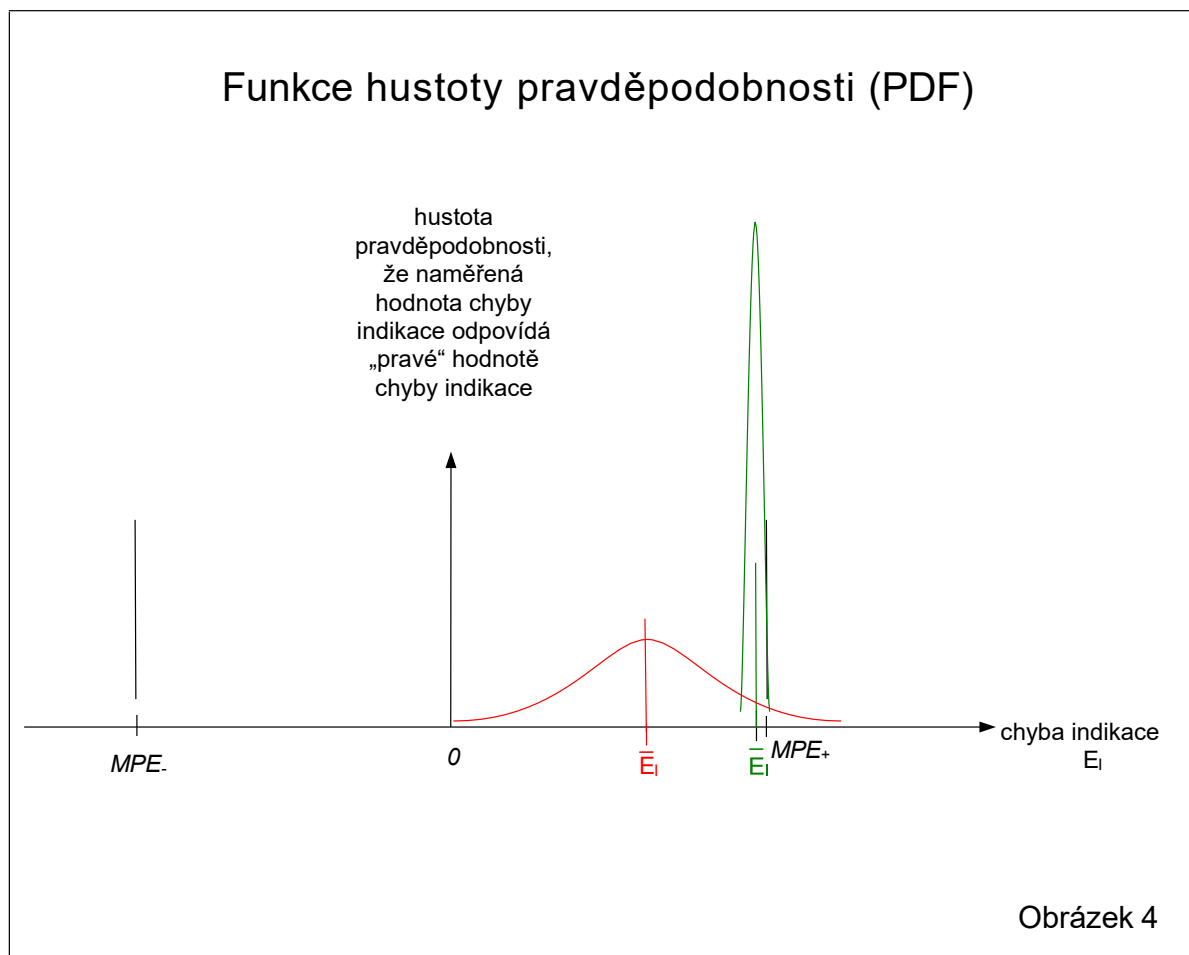
Naopak riziko nesprávného zamítnutí znamená, že zkouška je považována za neúspěšnou, ale ve skutečnosti by požadavek na MPE mohl být splněn. V tomto případě naměřená hodnota chyby indikace leží mimo oblast ohraničenou MPE, ale PDF přesahuje do oblasti nacházející se uvnitř plochy ohraničené MPE. Je třeba si uvědomit, že riziko nesprávného zamítnutí nese výrobce nebo prodejce měřidla nebo systému. Riziko spočívá v tom, že měřidlo/systém funguje „v rámci specifikace“, i když výsledek zkoušky říká, že tomu tak není. Hodnota rizika nesprávného zamítnutí se vypočítá jako plocha pod PDF, která je uvnitř oblasti ohraničené MPE, když naměřená hodnota chyby indikace leží mimo oblast ohraničenou MPE.

Možným rozhodovacím pravidlem, které může být spojeno se zkouškou v legální metrologii, je, že riziko nesprávného zamítnutí (p_{fr}) bude menší než určitá stanovená hodnota (například 2 %). Toto riziko by zvýhodnilo výrobce nebo prodejce měřidla/systému na úkor hodnotitele nebo uživatele měřidla/systému, protože naměřená hodnota chyby indikace $\bar{E}_I$ by ležela mimo oblast ohraničenou MPE, a dále, obvykle by ani nemohla ležet moc blízko příslušné hranici MPE, pokud má být splněno rozhodovací pravidlo.

Je důležité si uvědomit, že pro daný test není možné mít rozhodovací pravidlo, které zahrnuje jak riziko nesprávného přijetí, tak riziko nesprávného zamítnutí. To znamená, že „výhoda“ může připadnout buď hodnotiteli/uživateli, nebo výrobc/prodejci, ale ne oběma stranám současně! Je také důležité poznamenat, že aby bylo možné vypočítat riziko nesprávného přijetí nebo nesprávného zamítnutí, musí být známa PDF.

5.3.3 Sdílené riziko

Na druhé straně, sdílené riziko je dohoda mezi zúčastněnými stranami o výsledku zkoušení, že žádná z obou stran nebude zvýhodněna ani znevýhodněna, pokud jde o zohlednění nejistoty měření. Z takové dohody implicitně vyplývá, že rozšířená nejistota měření U_{E_I} je „malá“ s ohledem na MPE (tj. poměr (U_{E_I}/MPE) je „malý“), takže existuje značné riziko nesprávného rozhodnutí pro hodnoty $\bar{E}_I$, které jsou jen velmi blízko hranic MPE. To je znázorněno na obrázku 4 pro dvě různé možné PDF pro dané měření. Nejistota U_{E_I} spojená s levou (červenou) Gaussovou křivkou je pravděpodobně příliš velká pro dohodu o sdíleném riziku, zatímco nejistota U_{E_I} spojená s pravou (zelenou) Gaussovou křivkou by pravděpodobně byla přijatelná pro většinu aplikací.



Důležitou výhodou přístupu na základě sdíleného rizika je, že není nutné znát PDF pro chybu indikace, protože riziko je sdíleno rovným dílem, a proto nejsou nutné žádné výpočty rizika. Tím je užití přístupu na základě sdíleného rizika zvýhodněno, což je velmi žádoucí při zvažování, jaké rozhodovací pravidlo navrhnout v doporučení OIML nebo jiné publikaci OIML, protože to alespoň částečně zjednodušuje proces rozhodování.

Ve skutečnosti mnoho doporučení OIML v současné době, alespoň implicitně, přístup sdíleného rizika používá. Aby byly splněny požadavky normy ISO/IEC 17025 [9], že nejistota měření se má brát alespoň do určité míry v úvahu u všech druhů měření, důrazně se doporučuje, aby v takovém případě bylo explicitně v publikacích OIML uvedeno, že se používá princip sdíleného rizika.

Všimněte si, že i s přístupem založeném na sdíleném riziku je stále nutné vypočítat nejistoty měření U_{E_i} , aby bylo možné prověřit poměr (U_{E_i}/MPE) a zjistit, zda je „dostatečně malý“, jak je uvedeno v 5.3.4. Všimněte si také, že pokud mají být největší dovolené chyby z nějakého důvodu upraveny (například zohlednění provozních podmínek) pomocí metody ochranného pásma (viz 5.3.6), lze přístup sdíleného rizika stále použít s novými MPE, nebo nastavením ochranného pásma.

5.3.4 Nejvyšší dovolená nejistota chyby indikace

Stává se běžným (např. [20]) odkazovat na nejvyšší hodnotu, kterou smí poměr (U_{E_I}/MPE) mít ve smyslu “nejvyšší dovolené nejistoty” chyby indikace (označené symbolem MPU_{E_I}), definované jako:

$$MPU_{E_I} \equiv f_{E_I} \cdot MPE \quad (5.1)$$

kde f_{E_I} je stanovené číslo menší než 1, obvykle v řádu 1/3 nebo 1/5 (0,33 nebo 0,2) [17].

Pozn.: V některých doporučeních OIML neplatí $f_{E_I} < 1$ (např. R 76 pro váhy s neautomatickou činností a také někdy pro snímače zatížení a váhy s automatickou činností), zejména když jsou naměřené hodnoty chyb indikace všechny velmi blízké nejvyšším dovoleným chybám.

Nejvyšší dovolená nejistota (MPU_{E_I}) je obvykle považována za největší hodnotu, kterou může U_{E_I} mít pro dané měření chyby indikace $\bar{E}_I$, pro kterou lze použít přístup sdíleného rizika. Rozhodovací pravidlo, které se má použít ohledně MPU_{E_I} , je, že pokud je U_{E_I} větší než MPU_{E_I} , pak se výsledek zkoušky považuje za nevyhovující a bude třeba vyvinout prostředky pro snížení U_{E_I} (nebo pro začlenění zvýšené MPE).

Dalším směrem úvah o potřebě specifikovat MPU_{E_I} je, že pokud je U_{E_I} srovnatelné s MPE, pak pro hodnoty $\bar{E}_I$, které leží řekněme přibližně v polovině mezi 0 a MPE_+ , jak ukazuje křivka zcela vlevo na obrázku 4, může existovat relativně velká pravděpodobnost, že pravá hodnota chyby indikace leží daleko napravo od MPE_+ (tj. když E_I leží velmi blízko MPE_+), což je v mnoha případech nepřijatelné riziko. Tím, že je známa MPU_{E_I} , se taková možnost eliminuje.

Všimněte si, že $1/f_{E_I}$ se někdy nazývá poměr nejistot při zkoušce (TUR). Všimněte si také, že pokud je nejistota spojená s etalonem (U_S) mnohem větší než nejistota spojená s ostatními složkami přispívajícími k U_{E_I} , pak se MPU_{E_I} přibližně rovná „nejvyšší dovolené nejistotě (etalonu)” (označované symbolem MPU_S) (viz 5.3.5).

Zde je vhodné znovu zdůraznit, že U_{E_I} není jen rozšířená nejistota spojená s měřidlem, které je předmětem hodnocení, ale zahrnuje nejistotu spojenou s celým zkušebním zařízením a veškerými vlivy danými podmínkami prostředí. To znamená, že se předpokládá, že v průběhu měření chyb indikace hodnocené měřidlo pracuje v rámci svých stanovených jmenovitých provozních podmínek. Pokud skutečné provozní podmínky kolísají mimo jmenovité provozní podmínky, může být nutné vzít v úvahu další nejistotu měření.

5.3.5 Nejvyšší dovolená nejistota etalonu

Kromě potřeby specifikace „nejvyšší dovolené nejistoty (chyby indikace)“ je z výše uvedených důvodů dalším rozhodovacím pravidlem, které se často používá, specifikace „nejvyšší dovolené nejistoty (etalonu)“ (označení MPU_S), definované:

$$MPU_S \equiv f_S \cdot MPE \quad (5.2)$$

kde f_S je stanovené číslo menší než jedna, také obvykle řádu 1/3 nebo 1/5 (0,33 nebo 0,2). Nejvyšší dovolená nejistota (MPU_S) je pak největší hodnota U_S dovolená pro dané měření chyby indikace $\bar{E}_I$.

Důvodem pro tento požadavek je, že pokud je MPU_S příliš velká, pak rozhodnutí vyhověl – nevyhověl na základě výše uvedené MPU_{E_I} může být převážně dáno kvalitou etalonu a/nebo zkušební laboratoře, spíše než kvalitou měřidla/systému, které je předmětem zkoušení (všimněte si, že U_{E_I} obsahuje U_S i další složky nejistoty). Mohlo by být považováno za nefér vůči výrobci zkoušet měřidlo pomocí etalonu, jehož nejistota zahrnuje většinu U_{E_I} , jelikož potom nejistota spojená s indikovanou hodnotou (U_I), jakož i další možné složky nejistoty spojené s měřidlem/systémem, by musely být relativně malé, aby nejistota spojená s chybou indikace zůstala pro konkrétní zkoušku přijatelně nízká (tj. menší než MPU_{E_I}). Požadavkem, aby f_S byl relativně nízký (řekněme méně než 1/5), lze předejít jakýmkoli významným rozdílným nebo nesrovnalostem mezi zkušebními laboratořemi. Jednotlivá doporučení OIML by proto měla specifikovat přijatelnou hodnotu f_S (nebo MPU_S) vhodnou pro každý konkrétní typ zkoušky.

Všimněte si, že $1/f_S$ se někdy nazývá poměr přesnosti zkoušky (TAR), ačkoli v takovém případě je MPU_S považována za nejvyšší dovolenou chybu (etalonu), protože TAR je obvykle považován za poměr chyb. Všimněte si také, že pokud je nejistota etalonu měření hlavní složkou celkové nejistoty, pak se MPU_{E_I} přibližně rovná MPU_S , což je nežádoucí situace, pokud není celková nejistota mnohem menší než MPE.

5.3.6 Shrnutí kritérií pravidel rozhodování

Při zvažování, která pravidla rozhodování by měla být začleněna do doporučení OIML a dalších publikací OIML, by měly být brány v úvahu důsledky nesprávného rozhodnutí při navrhování přijatelných úrovní rizik. Pokud nejsou důsledky nesprávného přijetí považovány za příliš závažné, mělo by být podporováno začlenění přístupu sdíleného rizika, protože je to relativně účinný způsob rozhodování o shodě, přičemž se stále bere v úvahu nejistota měření. V legální metrologii obvykle platí, že přístup sdíleného rizika lze úspěšně použít pro zkoušku, pokud odpovídající MPE pro tento druh zkoušky nemusí být příliš „malá“ (viz 7) a že nejistota měření chyby indikace není příliš velká.

V mnoha situacích v legální metrologii se používají MPE, které předvídají pravděpodobnou úroveň nejistoty měření, takže riziko již bylo zohledněno. Pokud tomu tak je, měla by být tato podmínka zdokumentována, aby nedocházelo k dvojímu započítání nejistoty měření.

Volba, zda použít f_{E_I} nebo f_S (TUR nebo TAR) pro účely rozhodování o vhodnosti přístupu sdíleného rizika, závisí na úrovni dostupných informací a zdrojů a na důsledcích nesprávného rozhodnutí. Zatímco samotná f_S (TAR) se stanovuje nejsnáze, obvykle pouze pomocí specifikace přesnosti podle výrobce, nejbezpečnější je použití f_E (TUR), protože bere explicitně v úvahu všechny významné složky nejistoty.

Pokud nelze použít přístup sdíleného rizika a místo toho je nutné použít při rozhodování o shodě riziko nesprávného přijetí, existuje vhodný prostředek, který může minimalizovat čas a úsilí vynakládané hodnotitelem zkoušky, a to je využití konceptu „indexu způsobilosti měření“ [5], definovaného pro účely legální metrologie jako $C_m = MPE/(2 \cdot u_{E_I})$. Všimněte si, že C_m je úměrný MPU_{E_I} a nepřímo úměrný f_{E_I} . Příloha E uvádí diskusi a příklad toho, jak lze index způsobilosti měření použít k relativně „rychlému“ rozhodnutí o zkoušce, když jsou známy všechny hodnoty – MPE, rizika nesprávného přijetí (p_{fa}), naměřený E_I a vypočítaný u_{E_I} .

Pro ty speciální případy použití rizika nesprávného přijetí (nebo nesprávného zamítnutí), kdy standardní nejistotu spojenou s chybou indikace (u_{E_I}) lze považovat za konstantní (tj. je stejná pro každou chybu indikace), pak pro rozhodování o shodě lze použít zvláště vhodnou metodu, známou jako „ochranné pásmo, guard banding“. Za takových podmínek se hranice MPE jednoduše „posunou“ dovnitř (v případě nesprávného přijetí) nebo ven (v případě nesprávného zamítnutí) o hodnotu odpovídající příslušným rizikům a rozhodnutí o shodě jsou pak učiněna na základě toho, zda naměřená chyba indikace (E_I) leží uvnitř nebo vně posunutých hranic shody. Odkaz [5] uvádí velmi užitečnou diskusi o principu ochranného pásma. Pro schválení typu v legální metrologii se používají pouze ochranná pásma, která jsou posunuta dovnitř.

Zároveň s tím, že pravidla rozhodování a související rizika spolu s jejich důsledky by měla být zohledněna a diskutována v doporučeních OIML, mělo by se také pečlivě zvážit, zda jsou vyžadovány, nebo dokonce navrženy specifické úrovně přijatelné pravděpodobnosti pro různé typy zkoušek. Pokud ano, mělo by se tak dít pouze v rámci regulatorních požadavků. Návrhy mohou být uvedeny v doporučeních, i když obvykle by to mělo být ponecháno na vnitrostátních nebo regionálních předpisech. Různá rizika mohou mít vážné ekonomické důsledky pro různé strany a specifikace takových rizik je obvykle mimo rozsah doporučení.

6 Rozhodnutí při zkoušení shody, která explicitně nezahrnují nejistotu měření

Jak bylo zmíněno v úvodu, zohlednění nejistoty měření je široce uznáváno jak v metrologii, tak v komunitě akreditovaných laboratoří jako zásadní pro metrologickou návaznost výsledků měření. Jak již bylo zmíněno, mnoho zkoušek v legální metrologii se provádí mimo laboratorní prostředí, s cílem umožnit „rychlá a snadná“ rozhodnutí vyhovět – nevyhovět, takže nejistota měření je někdy poskytována pouze implicitně. Je proto důležité zvážit, jak zachovat metrologickou návaznost výsledků měření mimo laboratorní prostředí v případech, kdy nejistota měření není výslovně uvedena.

Jako příklad nutnosti zohlednění nejistoty měření při provádění měření uvádí GUM v 3.1.2: „Obecně je výsledek měření pouze aproximací nebo odhadem hodnoty měřené veličiny a je tedy úplný pouze tehdy, je-li doprovázen prohlášením o nejistotě tohoto odhadu.“. VIM3 [14] definuje „metrologickou návaznost“ jako: „2.41 vlastnost výsledku měření, pomocí níž může být výsledek vztažen ke stanovené referenci přes dokumentovaný nepřerušovaný řetězec kalibrací, z nichž každá se podílí svým příspěvkem na stanovené nejistotě měření“, to znamená, že aby měl výsledek metrologickou návaznost, musí být nejistota měření přinejmenším zohledněna, pokud není výslovně uvedena.

Někdy, když se měření provádějí mimo laboratorní prostředí, má se za to, že nejistota měření je nevýznamná. Jak je uvedeno v GUM v 3.4.5:

„V praxi, zejména v oblasti legální metrologie, se často stává, že zařízení je zkoušeno pomocí porovnání s etalonem a nejistoty spojené s etalonem a postupem porovnání jsou vzhledem k požadované přesnosti zkoušky zanedbatelné. Příkladem je použití sady dobře kalibrovaných etalonů hmotnosti k testování přesnosti komerční váhy. V takových případech, protože složky nejistoty jsou dostatečně malé na to, aby je bylo možné ignorovat, lze měření považovat za stanovení chyby zkoušeného měřidla.“

V tomto případě „chyba“ znamená „chyba indikace“. Zatímco GUM zde uznává, že existují situace, kdy „složky nejistoty jsou dostatečně malé na to, aby je bylo možné ignorovat“, je důležité si uvědomit, že je třeba toto nějakým způsobem prokázat a zdokumentovat, nestačí pouze předpoklad.

Možný výskyt obtíží spojených s hodnocením nejistoty měření, a to i v prostředí zkušební laboratoře, uznává i ISO/IEC 17025 [9], kde v 5.4.6.2 je uvedeno, že:

„Zkušební laboratoře musí mít a používat postupy pro odhad nejistoty měření. V určitých případech může povaha zkušební metody vylučovat přesné, metrologicky a statisticky oprávněné výpočty nejistoty měření. V těchto případech se musí laboratoř alespoň pokusit o identifikaci všech složek nejistoty a o přiměřený odhad nejistoty a musí zajistit, aby způsob uvádění výsledků nevzbuzoval nesprávnou představu o hodnotě nejistoty. Přiměřený odhad musí být založen na znalosti provedení metody a na rozsah použití měření a musí využívat například předchozích zkušeností a údajů o validaci.“

POZNÁMKA 1 Stupeň důslednosti potřebný pro odhad nejistoty měření závisí na faktorech, jako jsou:

- požadavky zkušební metody;
- požadavky zákazníka;
- existence úzkých mezí, na kterých jsou založena rozhodování o shodě se specifikací.

POZNÁMKA 2 V těch případech, kdy jsou v dobře zvládnuté zkušební metodě specifikovány meze hodnot hlavních zdrojů nejistot měření a kdy je specifikován způsob uvádění vypočtených výsledků, se předpokládá, že laboratoř naplnila požadavky tohoto článku dodržáním zkušební metody a instrukcí týkajících se uvádění výsledků.“

Totéž se předpokládá také pro měření prováděná mimo laboratorní prostředí.

Konečně, GUM také uvádí v 7.1.3:

„V průmyslu a obchodu se každý den provádějí četná měření bez jakéhokoli explicitního uvádění nejistoty. Mnohá se však provádějí pomocí měřidel, která podléhají pravidelné kalibraci nebo ověřování jako stanovená měřidla. Pokud je o měřidle známo, že je ve shodě se svými specifikacemi nebo s platnými normativními dokumenty, které se na ně vztahují, lze nejistoty jejich indikací odvodit z těchto specifikací nebo normativních dokumentů.“

Použití normativních dokumentů nebo specifikací je důležité pro legální metrologii, protože otevírá cestu k tomu, že není nutné explicitně uvádět nejistotu měření pro každé měření prováděné mimo laboratorní prostředí, kde uvádění nejistot bývá nepraktické.

Vše, co je uvedeno výše v tomto článku, má za cíl posílit povědomí o tom, že k tomu, aby bylo možné tvrdit metrologickou návaznost výsledků měření, není vždy nutné explicitně počítat a uvádět nejistotu měření. Důležité je však vyzdvihnout, že vždy existuje základní povědomí o tom, že úroveň nejistoty ve výsledcích měření byla zajištěna a že metoda zajištění je dobře zdokumentována. Toto zajištění je obvykle prováděno na vyšších úrovních organizace odpovědné za zajištění regulace, nikoli osobou, která skutečně provádí měření za účelem ověření. Dále se rozumí, že v případě zpochybnění může být pro taková měření prováděná mimo laboratorní prostředí poskytnuta věrohodná nejistota měření (jako například pro účely ověření jednotlivého měřidla).

Například, pokud byly stanovené poměry přesnosti zkoušky (TAR) dodrženy v celém řetězci kalibrací v laboratoři nebo v systému měření nebo zkoušení v prostředí mimo laboratoř, lze často získat poměrně snadno horní hranici standardní nejistoty výsledných měření. To lze provést bez explicitního uvádění nejistot měření v každém kroku za předpokladu, že v každém článku kalibračního řetězce¹

- používaný TAR je udržován na dostatečně vysoké úrovni, typicky 4:1,
- jsou zavedeny systémy, které zmírňují působení jakýchkoli potenciálních zdrojů nejistoty, které nejsou zohledněny v použitém TAR a

¹ Uvědomte si, že tento řetězec může mít pouze jeden nebo dva články.

- použitý poměr přesnosti zkoušky (TAR) je definován tak, aby jeho číselník a jmenovatel mohl být vztažen k násobkům² (tj. koeficientu pokrytí) standardních nejistot pro budoucí měření provedená pomocí zkoušeného měřidla a etalonu použitého ke stanovení návaznosti zkoušeného zařízení (měřidla).

Pokud jsou splněny výše uvedené podmínky, standardní nejistota měření provedených pomocí zkoušeného měřidla může být vyhodnocena poměrně jednoduše pomocí metod popsanych v GUM. Hodnota této standardní nejistoty bude založena na specifikaci funkcí zkoušeného měřidla, na úrovni TAR udržovaného v průběhu kalibračního řetězce a na poměru příslušných násobků standardních nejistot zkoušeného měřidla a na kalibrační korekci diskutované výše a začleněné v definici používaného TAR.

Abychom to dále ilustrovali, vezměme definici TAR, kde číselníkem TAR je poloviční rozsah specifikace měřidla, což by odpovídalo rozsahu přibližně hodnotě tří standardních nejistot za předpokladu, že chyby měření měřidla odpovídají Gaussovu rozdělení. Předpokládejme, že jmenovatel je poloviční rozsah potenciálních standardních hodnot měření na úrovni spolehlivosti 95 %, což by obecně odpovídalo rozsahu přibližně hodnotě dvou standardních nejistot. Proto by poměr příslušných násobků standardních nejistot pro tento TAR byl 6/4. V kombinaci s hodnotou TAR udržovanou v každém kroku kalibračního řetězce (např. $TAR \geq 4$) lze tento poměr použít k určení horní hranice nejistoty použité při stanovení návaznosti měření provedených pomocí měřidla na konci kalibračního řetězce [25].

² Ačkoli tyto násobky jsou často celá čísla (např. $k = 2$ nebo $k = 3$), není to nutné.

7 Zohlednění nejistoty měření při stanovení největších dovolených chyb (MPE) a tříd přesnosti

Mnohá doporučení OIML a některé další publikace OIML stanovují MPE, které mají být použity pro konkrétní zkoušky. Stanovení hodnot MPE obvykle zahrnuje rovnoměrné zvážení kritérií, včetně adekvátní ochrany spotřebitele nebo uživatele měřidla/systému z důvodu nákladů a někdy i bezpečnosti, ale také ochrany výrobce nebo distributora, opět z důvodů nákladů. Co se někdy přehlédne, je zvážení nejnižší úrovně nejistoty měření, které lze fyzikálně dosáhnout pro konkrétní zkoušku, čímž je dána spodní hranice MPE, kterou lze použít. To je potřeba zohlednit při specifikaci MPE pro konkrétní zkoušku nebo při stanovení tříd přesnosti pro druh měřidla, zejména v případech, kdy jsou specifikovány MPU.

Například v případech zkoušek, kdy je známo, že rozšířená nejistota U_{E1} je obvykle určité hodnoty (a nelze ji snadno snížit), pak by MPE odpovídající této zkoušce měla být vhodně stanovena tak, aby poměr ($f_{E1} = U_{E1}/\text{MPE}$) diskutovaný v 5.3.4 bylo možné udržovat na přijatelně nízké úrovni. V tomto případě, protože u_{E1} nelze snížit, může vyvstat nutnost zvýšit MPE tak, aby bylo možné dosáhnout stavu znázorněného křivkou zcela vpravo na obrázku 4.

Podobně pro etalon platí, že pokud je $f_S (= U_S / \text{MPE})$ pro daný druh zkoušky typicky příliš velký, pak MPE nemusí být vhodná, a proto, pokud je to možné, může být nutné v doporučení stanovit větší hodnotu MPE. Pokud hodnotu MPE nelze zvýšit z jiných důvodů, může být nutné stanovit typ etalonu/systému, který má nižší nejistotu měření (U_S).

Při úvahách začlenit pokyny týkající se stanovení vhodných MPE a tříd přesnosti do doporučení lze použít příslušnou existující literaturu (např. [21][22]).

8 Možnosti a návrh formulací týkajících se „nejistoty měření“, které mají být zváženy pro zahrnutí do doporučení OIML a dalších publikací

Při rozhodování o tom, jak začlenit kritéria týkající se nejistoty měření do doporučení OIML a dalších publikací OIML, by měly být zváženy následující možnosti a vybrány vhodné. Níže je uveden návrh text (*kurzívou*), který může být zahrnut do doporučení OIML nebo jiné publikace OIML.

8.1 Začlenění nejistoty měření do zkoušení v prostředí laboratoře

Pokud doporučení nebo publikace OIML zahrnuje hodnocení typu nebo jiné zkoušení měřidla nebo měřicího systému v laboratoři, musí být uveden text, který zdůrazní, jak může a měla by být nejistota měření začleněna do rozhodování o shodě, kterých se dané doporučení týká (viz odstavec 5). Doporučené znění textu (*kurzívou*):

“XX Nejistota měření

Vyhodnocování a používání nejistot měření se stalo důležitým a základním prvkem ve všech aspektech metrologie, včetně legální metrologie. Pro obecné pochopení terminologie a pojmů souvisejících s nejistotou měření je důležitá publikace OIML G 19 „Role nejistoty měření v rozhodování při posuzování shody v legální metrologii“, kde je obsažen také návod, jak nejistotu měření posuzovat a používat.

Nejistota měření se musí brát v úvahu ve všech aspektech rozhodování o měření a posuzování shody souvisejících s hodnocením typu nebo jinými laboratorními zkouškami podle tohoto doporučení OIML. Návod je uveden v xxx. Každá zkouška zahrnuje měření používající harmonizované podmínky a nastavení zkoušky prováděné za účelem ověření shody s požadavky. Nejistota měření je vlastností každého měření. Nejistota spojená se zkušební metodou se musí vzít v úvahu při rozhodování o použitelnosti zkušební metody.

Výsledky měření, které jsou zaznamenávány během laboratorního zkoušení měřidla/systému, musí obsahovat naměřenou hodnotu spolu s příslušnou nejistotou měření. Výjimkou jsou případy, kdy jsou jednotlivé naměřené hodnoty získávány za účelem posouzení složky nejistoty měření spojené s opakovatelností nebo reprodukovatelností měřidla/systému a/nebo zkušebního postupu, kdy je nejistota měření místo toho spojena se střední hodnotou jednotlivých naměřených hodnot, nebo pokud se zjistí, že složka nejistoty měření není v konkrétní aplikaci měření významná (toto je třeba zaznamenat).“

8.2 Výpočet nejistoty měření

Jednotlivá doporučení OIML by měla podle potřeby poskytovat návod pro výpočet nejistoty měření pro model(y) měření vhodný pro daný druh měřidla (měřidel), zkušební systémy a procesy obsažené v doporučení (viz příklady v příloze C). Příklady takových pokynů jsou uvedeny v sedmi níže uvedených krocích. Obecně by měl být poskytnut návod k následujícímu:

- (Krok 1) Popište zkoušené měřidlo (IUT) spolu s měřicím systémem, který bude použit pro provedení zkoušek (zkoušky). Do popisu zahrňte všechny ovlivňující veličiny, které mohou ovlivnit jak zkoušené měřidlo, tak zkušební zařízení (měřidlo/systém), a specifikujte podmínky (pokud existují), při kterých budou (ovlivňující) veličiny během zkoušení udržovány, případně rozsah(y), v jejichž mezích musí (ovlivňující) veličiny zůstat během zkoušení (např. jmenovité provozní podmínky a/nebo referenční provozní podmínky jak zkušebního měřidla/systému, tak IUT).
- (Krok 2) Identifikujte všechny různé druhy zkoušek, které bude nutné provést pro účely hodnocení typu a/nebo ověření v laboratoři. Na základě popisu v kroku 1 vytvořte matematický model měření (jako v rovnici 4.2), který bude použit pro provedení každého z druhů zkoušek. Každý model musí v konečném důsledku poskytovat výraz pro „chybu indikace“ a také obsahovat výraz pro standardní nejistotu měření, která má být spojena s každou naměřenou chybou indikace (pokud nemají být opakovaně měřeny chyby indikace – v takovém případě má být uvedena střední hodnota chyby indikace spolu se související standardní nejistotou měření, která zahrnuje složku získanou z opakovaných měření, viz krok 5 níže).
- (Krok 3) Vypočítejte související standardní nejistotu měření (u_s) etalonu nebo systému měření.
- (Krok 4) Vypočítejte standardní nejistotu měření (u_I) spojenou s indikovanou hodnotou měřené veličiny (včetně složek daných rozlišením indikátoru a/nebo náhodného kolísání).
- (Krok 5) Vypočítejte standardní nejistotu měření (u_{rep}) spojenou s opakovatelností nebo reprodukovatelností měřidla/systému a/nebo zkušebního postupu.
- (Krok 6) Vypočítejte standardní nejistotu měření (u_{roc}), pokud se zjistí, že se indikace měřidla mění, když je provozováno v rozsahu jmenovitých provozních podmínek pro určitý daný vstup měřidla. (Všimněte si, že tato složka nejistoty měření je někdy explicitně považována za součást nejistoty měření chyby indikace, ale někdy je považována za zahrnutou konvencí do MPE. Je proto třeba věnovat pozornost specifikacím, jaká konvence se používá. [36]).
- (Krok 7) Zkombinujte všechny tyto složky nejistoty měření (pomocí metodik [1][2][3][4][5]) za účelem výpočtu kombinované standardní nejistoty měření (u_{E1}) spojené s chybou indikace. (Viz příklad v příloze C).

Kroky 2–7 mohou být shrnuty následujícím způsobem:

- pro každou zkoušku vypracujte model této zkoušky, který zohlední všechny složky nejistoty;
- vypočítejte standardní nejistotu pro všechny složky; a
- vypočítejte kombinovanou standardní nejistotu pro tuto zkoušku.

V doporučeních a dalších publikacích OIML je třeba zdůraznit, že složka nejistoty měření pocházející ze směrodatné odchylky jednotlivých naměřených hodnot (složka typu A) není celá

nejistota měření a že složky typu B, které jsou výsledkem kroků 3–6 výše musí být také zahrnuty do kombinované standardní nejistoty měření.

Pokud existují, uveďte diskusi ohledně zvláštních nebo neobvyklých aspektů posuzování složek nejistoty měření (viz také 8.8).

8.3 Stanovení MPE a MPU

Pro každý druh zkoušky uvedený výše v 8.2, krok 2, by měla být v doporučení OIML uvedena diskuse a specifikace, jaká je vhodná MPE pro daný druh zkoušky. Například u zkoušky pro účely hodnocení typu by stanovená MPE měla odpovídat jedné z několika možných tříd přesnosti, pro kterou je měřidlo zkoušeno. Pro zkoušku prováděnou za účelem ověření může stanovená MPE vycházet z různých kritérií, jak je uvedeno v 7.

Mělo by se také diskutovat o tom, jaké budou pravděpodobné hodnoty u_{E_1} a u_S během zkoušky, aby mohlo být rozhodnuto, zda mají být stanoveny hodnoty MPU_{E_1} a MPU_S , a pokud ano, jaké by tyto hodnoty měly být (nebo spíše jaké by měly být f_{E_1} a f_S ; viz 0, 5.3.5 a 7.).

8.4 Stanovení přijatelných úrovní rizika

Při zpracování doporučení OIML nebo jiných publikací OIML je třeba zvážit, zda nemají být navrženy „přijatelné“ úrovně rizika pro různé druhy zkoušek. Pravidla rozhodování a související rizika, spolu s jejich důsledky, se musí zohlednit a diskutovat v doporučeních OIML i dalších publikacích OIML. To by však mělo být provedeno pouze v kontextu legislativního rámce. Rizika pro výrobce mohou mít vážné ekonomické důsledky, které jsou obvykle mimo oblast působnosti doporučení (viz 7).

V závislosti na hodnotách MPU_{E_1} a MPU_S specifikovaných výše v 8.3 (pokud existují) má být uvedena diskuse o tom, zda má být použit princip „sdíleného rizika“ (viz 5.3.3), nebo zda existuje určité riziko (pravděpodobnost), které je třeba použít, a pokud ano, zda se jedná o riziko nesprávného přijetí (viz 5.3.1) nebo riziko nesprávného zamítnutí (viz 5.3.2). Všimněte si, že pokud je v doporučení OIML (nebo v jiných publikacích OIML) použit přístup „sdíleného rizika“, neměl by být použitý implicitně, ale spíše by mělo být v doporučení uvedeno výslovné prohlášení o jeho použití.

8.5 Stanovení nejistoty chyby indikace, pokud není použito sdílené riziko

Pokud má být použito riziko nesprávného přijetí nebo riziko nesprávného zamítnutí, je dále nutné specifikovat, zda má být u_{E_1} považována za pevnou hodnotu pro každé měření, v takovém případě lze pro rozhodování o shodě použít ochranné pásmo (viz 5.3.6), nebo zda se má u_{E_1} vypočítat samostatně pro každou chybu indikace, v takovém případě lze pokaždé použít standardní tabulku normálního rozdělení nebo index způsobilosti měření. Měl by být uveden odkaz na přílohu B a přílohu E této příručky OIML spolu s možnou další diskusí o tom, jak používat standardní tabulku normálního rozdělení a/nebo index způsobilosti měření pro konkrétní doporučení OIML.

Konstrukce funkce PDF a výpočet ploch oblastí pod křivkou PDF je obecně netriviální záležitostí, a proto by měla být jakákoli rada a pomoc, která je v tomto ohledu uvedena v doporučení (doporučeních), během jeho zpracování pečlivě zvážena.

8.6 Komplexnost posouzení nejistoty chyby indikace

Posouzení nejistoty měření chyby indikace pro jednotlivá měření pro určitý typ měřidla může být poněkud složité. Je však důležité poznamenat, že po provedení všech odvození a získání hodnot a souvisejících nejistot měření pro typické podmínky měření, by měl být proces získávání hodnoty u_{E1} pro každé následující jednotlivé měření provedené během hodnocení daného typu nebo ověřování v laboratoři relativně jednoduchý. Většina složek nejistoty měření se mezi jednotlivými měřeními nezmění. Tento aspekt nakládání s nejistotou měření by měl být zahrnut do diskuse v každém doporučení OIML tam, kde je nejistota měření relevantní. Doporučený text (kurzívou):

„Posouzení nejistoty měření chyby indikace pro jednotlivé měření pro konkrétní typ měřidla může být poněkud složité. Je však důležité poznamenat, že jakmile byla provedena veškerá odvození a byly získány hodnoty a související nejistoty měření pro typické podmínky měření, by měl být proces získávání hodnoty u_{E1} pro každé následující jednotlivé měření provedené během zkoušky pro hodnocení daného typu relativně jednoduchý. Většina složek nejistoty měření se mezi jednotlivými měřeními nezmění. To může zjednodušit proces začlenění nejistoty měření do situací mimo laboratorní prostředí, protože lze použít ochranná pásma nebo přímo tabulky indexu způsobilosti měření (např. viz příloha E v OIML Guide G 19 Role nejistoty měření v rozhodování při posuzování shody v legální metrologii).“

Druhou možností je uvedení odkazu na návod obsažený v této příručce OIML s poznámkou odkazující na přílohu E.

8.7 Zaznamenávání nejistoty měření do protokolů o zkoušce OIML hodnocení typu

U hodnocení typu by doporučení OIML měla obsahovat explicitní položky ve formátu dokumentu protokolu o zkoušce (Test Report) pro záznam nejistoty měření (viz 5), které budou doprovázet každou naměřenou hodnotu, která se zaznamenává (kromě případů, kdy se provádí měření opakovatelnosti a/nebo reprodukovatelnosti). V případech, kdy lze předpokládat, že nejistota měření je zanedbatelná, by to mělo být zdokumentováno vhodným zápisem, nikoli ponecháním prázdného záznamu. Dále, pokud má být použita metoda „index způsobilosti měření“ (C_m) nebo metoda „ochranné pásmo“, mělo by to být také uvedeno ve formátu zkušební zprávy spolu s volným místem pro záznam hodnot příslušných parametrů (např. velikost ochranného pásma) a s výsledkem testu. Také má být ponecháno volné místo pro odkaz, kde lze nalézt graf C_m , který byl použit.

8.8 Uvedení návodu pro používání nejistoty měření pro následné ověřování

Doporučení OIML by měla poskytovat návod, jak zacházet s nejistotou měření v etapě zkoušek pro účely následného (periodického) ověřování, s důrazem na jakékoli rozdíly, preventivní opatření a/nebo zvláštní kritéria vyplývající z návodu týkajícího se zkoušek při hodnocení typu. Například pro určitý typ měřidla může být doporučeno zahrnout některé zdroje nejistoty měření během hodnocení typu, přičemž tyto zdroje nejistoty nemusí být tak významné v případech, kdy jsou MPE vyšší, např. při zkouškách při následném (periodickém) ověřování určitých měřidel. Dále je možné, že pro hodnocení typu se doporučuje použití ochranných pásem, zatímco pro následné ověřování může být přijatelné sdílené riziko.

9 Odkazy

- [1] JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections) - BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, *Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement* (Published by the OIML as OIML G 1-100:2008 at www.oiml.org/en/publications/guides/)
(v českém překladu vydal ÚNMZ jako součást řady Sborníky technické harmonizace Pokyn pro vyjadřování nejistoty měření (GUM), 2012
<https://www.unmz.cz/obecne/sborniky-unmz/sborniky-aktualni/>)
- [2] JCGM 101:2008 - BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, *Evaluation of measurement data - Supplement 1 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" - Propagation of distributions using a Monte Carlo method* (Published by the OIML as OIML G 1-101:2008 at www.oiml.org/en/publications/guides/)
- [3] JCGM 102:2011 - BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, *Evaluation of measurement data - Supplement 2 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" - Extension to any number of output quantities* - (Published by the OIML as OIML G 1-102:2008 at www.oiml.org/en/publications/guides/)
- [4] JCGM 104:2009 - BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, *Evaluation of measurement data - An introduction to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" and related documents*, (Published by the OIML as OIML G 1-104:2011 at www.oiml.org/en/publications/guides/)
- [5] JCGM 106:2012 - BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, *Evaluation of measurement data - The role of measurement uncertainty in conformity assessment* (Published by the OIML as OIML G 1-106:2012 at www.oiml.org/en/publications/guides/)
- [6] OIML B 18:2016, *Framework for the OIML Certification System (OIML-CS)*, (www.oiml.org/en/publications/basic)
- [7] OIML B 3:2013, *OIML Basic Certificate System for OIML Type Evaluation of Measuring Instruments* (www.oiml.org/en/publications/basic)
- [8] OIML B 10:2011, amended 2012, *Framework for a Mutual Acceptance Arrangement on OIML Type Evaluations (MAA)*, (www.oiml.org/en/publications/basic)
- [9] ISO/IEC 17025:2005, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories* (česky ČSN ISO/IEC 17025:2005 *Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří*, **nahrazena** ČSN ISO/IEC 17025:2017 *Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří*)
- [10] OIML D 30:2008, *Guide for the application of ISO/IEC 17025 to the assessment of Testing Laboratories involved in legal metrology* (www.oiml.org/en/publications/documents)

- [11] OIML R 87:2016, *Quantity of product in prepackages*, (www.oiml.org/en/publications/recommendations)
- [12] OIML R 79:2015, *Labeling requirements for prepackages*, (www.oiml.org/en/publications/recommendations)
- [13] OIML R 34:1979, *Accuracy classes of measuring instruments*, (www.oiml.org/en/publications/recommendations)
- [14] JCGM 200:2012 - BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, *International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM)* - (JCGM 200:2008 with minor corrections) (Published by the OIML as OIML V 2-200:2012 at www.oiml.org/en/publications/guides/) Also referred to in the present Guide as “VIM3”.
(v českém překladu vydal ÚNMZ jako součást řady Sborníky technické harmonizace Terminologie v oblasti metrologie, 2010 (VIM, VIML 2000), <https://www.unmz.cz/obecne/sborniky-unmz/sborniky-aktualni/>, interaktivní slovníky viz <https://www.unmz.cz/metrologie/slovniky/>)
- [15] OIML V 1:2013 *International vocabulary of terms in legal metrology (VIML) (bilingual French-English) / Vocabulaire international des termes de métrologie légale (VIML) (bilingue français-anglais)*, (www.oiml.org/en/publications/vocabularies/)
(v českém překladu vydal ÚNMZ jako součást řady Sborníky technické harmonizace Terminologie v oblasti metrologie, 2010 (VIM, VIML 2000), <https://www.unmz.cz/obecne/sborniky-unmz/sborniky-aktualni/>, interaktivní slovníky viz <https://www.unmz.cz/metrologie/slovniky/>)
- [16] Ehrlich, C., Dybkaer, R., and Woger, W., *Evolution of philosophy and description of measurement (preliminary rationale for VIM3)*, OIML Bulletin, April 2007, pp. 23–35 (www.oiml.org/en/publications/bulletin)
- [17] Sommer, K.-D. and Kochsiek, M., *Role of measurement uncertainty in deciding conformance in legal metrology*, OIML Bulletin, Volume XLIII, Number 2, April 2002, pp. 19–24 (www.oiml.org/en/publications/bulletin)
- [18] Ehrlich, C. and Rasberry, S., *Metrological Timelines in Traceability*, Metrologia, 1997, 34, pp. 503–514
- [19] www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3671.htm
- [20] Kallgren, H. and Pendrill, L., *Uncertainty in conformity assessment in legal metrology (related to the MID)*, OIML Bulletin, Volume XLVII, Number 3, July 2006, pp. 15–21 (www.oiml.org/en/publications/bulletin)
- [21] WELMEC Guide 4.2, Elements for deciding the appropriate level of confidence in regulated measurements, Issue 1, June 2006

- [22] The Expression of Uncertainty in EMC Testing, United Kingdom Accreditation Service (LAB34), Edition 1, August 2002
- [23] Deaver, D., An Application of the Guide to Measurement Uncertainty, 2000, Proceedings of the Measurement Science Conference (US).
- [24] Philips, Steven, Eberhardt, K.R., Estler, W.T., Measurement Uncertainty and Uncorrected Bias, Proceedings of the NCSL Workshop & Symposium, 1999, pp. 831–849
- [25] Guthrie, William, Easy Translation of TAR or TUR into Uncertainty. NCSLI 2013 - Session 6B:
(www.nist.gov/itl/sed/pubarchives/loader.cfm?csModule=security/getfile&pageid=3204506)

Další odkazy/ literatura:

- [26] OIML D 8 *Measurement standards. Choice, recognition, use, conservation and documentation* (www.oiml.org/en/publications/documents/)
- [27] OIML D 18 *The use of certified reference materials in fields covered by metrological control exercised by national services of legal metrology. Basic principles* (www.oiml.org/en/publications/documents/)
- [28] OIML D 23 *Principles for metrological control of equipment used for verification* (www.oiml.org/en/publications/documents/)
- [29] EA-4/02 M:2013 *Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration*
- [30] ILAC P-14 *ILAC Policy for Uncertainty in Calibration*
- [31] ILAC G-8 *Guidelines on the Reporting of Compliance with Specification*
- [32] L R Pendrill 2014, “Using measurement uncertainty in decision-making & conformity assessment”, *Metrologia* **51** S206, doi:10.1088/0026-1394/51/4/S206
- [33] H Karlsson, Å Olsen, L R Pendrill 2016, “Conformance assessment of electrical energy meters investigated by risk analysis – a case study”, *OIML Bulletin LVI I* (no. 2 April), 5 – 20 (www.oiml.org/en/publications/bulletin)
- [34] I Hendrikx, B Jovanoski, N Tuneski 2016, “Dynamic simulations of market surveillance actions”, IEEE Product Safety conference, May 2016, California (US)
- [35] Ehrlich, Charles, Terminological aspects of the Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (GUM), *Metrologia*, 51 (2014) S145-S154
- [36] Ehrlich, Charles D., Traceability Considerations for the Characterization and Use of Measuring Systems, NCSLI Measure J. Meas. Sci., Vol. 10, No. 4, December 2015

Příloha A
Koexistence „chyby měření“ a „nejistoty měření“ v legální metrologii
(vztah mezi kalibrací a ověřováním)

Vydání příručky *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* z roku 1993 (*Návod k vyjádření nejistoty v měření*, také označovaná jako GUM) otevřelo nový způsob uvažování jak o měření, tak o vyjádření vnímané kvality výsledku měření. Namísto vyjádření výsledku měření uvedením nejlepšího odhadu pravé hodnoty měřené veličiny spolu s informacemi o známých systematických a náhodných chybách nabízí GUM alternativní přístup, kdy je výsledek měření vyjádřen jako nejlepší odhad zásadně jedinečné pravé hodnoty (dále označované jako „pravá“ hodnota) veličiny, která má být měřena (dále jen „měřená veličina“), spolu s přidruženou „nejistotou měření“. (Všimněte si, že historicky se v legální metrologii termín „pravá hodnota“ někdy používá k označení hodnoty spojené s etalonem, který se používá při ověřování měřidla. To není význam tohoto termínu v této příručce OIML).

Pojem nejistoty měření lze popsat jako míru toho, nakolik se má za to, že je známa „pravá“ hodnota měřené veličiny. (Všimněte si, že podle přístupu GUM není možné vědět, do jaké míry je známa „pravá“ hodnota měřené veličiny, ale pouze to, do jaké míry se má za to, že je známá.) Pojem „důvěra, přesvědčení“ je důležitý, protože posouvá metrologii (a legální metrologii) do oblasti, kde je třeba na výsledky měření nahlížet a vyjadřovat je (někdy pouze implicitně) z hlediska pravděpodobnosti nebo stupně důvěry. Při rozhodování v legální metrologii o tom, zda měřicí systémy fungují v souladu se specifikovanými požadavky, je v případě použití přístupu GUM nutné činit taková rozhodnutí na pravděpodobnostním základě. Tato příručka OIML poskytuje návod, jak při rozhodování o posuzování shody začlenit přístup GUM a vzít v úvahu koncepty nejistoty měření a pravděpodobnosti.

Legální metrologie je proces a praxe aplikace regulačního rámce a prosazování v metrologii, což je věda a aplikace, užití měření. Velká část legální metrologie zahrnuje zkoušení nebo ověřování návrhu a použití měřidla/systému jak v laboratorním prostředí, tak mimo laboratoř, aby bylo zajištěno, že při používání měřidla/systému v aplikacích podléhajících regulaci mohou být a jsou prováděna důvěryhodná měření. Zkoušení nebo ověřování v tomto kontextu znamená, že se rozhoduje o tom, zda zkoušený měřicí systém poskytuje takové indikované hodnoty měřené veličiny, o kterých se předpokládá, že jsou „dostatečně blízké“ „pravé“ hodnotě určené pomocí etalonu pro daný účel v regulované oblasti. Dostatečně blízké podmínky jsou stanoveny v předpisech, obvykle v podobě „nejvyšších dovolených chyb“ (MPE) nebo „tříd přesnosti“. Pomocí přístupu GUM se pak cílem ověření stává určit stupeň důvěry (úroveň spolehlivosti), že „pravá“ hodnota „chyby indikace“ leží v mezích nejvyšších dovolených chyb, pokud se zohlední nejistota měření („chyby indikace“!).

Současné používání pojmů „chyba měření“ a „nejistota měření“ se může na první pohled zdát nekonzistentní nebo matoucí. GUM zdánlivě odrazuje od používání konceptu chyby měření ve prospěch nejistoty měření. Je však třeba mít na paměti, že GUM se zaměřuje na používání kalibrovaných měřidel k provádění měření, nikoli ke zkoušení nebo ověřování samotných měřidel. Podle pohledu GUM je třeba známo chyby měření, které vznikají při použití měřidla, „opravit“, aby nezůstala žádná známá (systematická) chyba měření. (Metody pro ošetření známých systematických chyb nebo vychýlení (bias) v tomto kontextu však existují. Viz např.

odkazy [23] a [24].) Naproti tomu v souvislosti s ověřováním v legální metrologii (stejně jako v některých dalších oblastech metrologie) se chyba používá k posouzení fungování měřidla (a nekoriguje se) a chybu (nebo vlastně chybu indikace) lze ve skutečnosti považovat za velmi vhodnou hodnotu k posouzení, spolu s přidruženou nejistotou. Takový přístup k užití termínu „chyba“ se používá v této příručce OIML.

Jak již bylo naznačeno, zkoušení shody v legální metrologii typicky zahrnuje porovnávání naměřené chyby indikace měřidla nebo systému s MPE, která je stanovena právním předpisem. Chyba indikace se v legální metrologii obvykle vypočítává jako rozdíl mezi indikovanou hodnotou a hodnotou danou etalonem. Je známo, že hodnota daná etalonem velmi pravděpodobně není „pravou“ hodnotou měřené veličiny, ale obvykle se má za to, že je v dané situaci velmi blízká. Protože však „chybou indikace“ je ve skutečnosti míněn rozdíl mezi indikovanou hodnotou a „pravou“ hodnotou etalonu měření, při rozhodování při posuzování shody je třeba zohlednit nejistotu spojenou s hodnotou danou etalonem (uvedenou v jeho kalibračním certifikátu). Toto téma bude rozvedeno níže.

S využitím přístupu založeného na prvotních předpokladech („first-principles approach“), který obsahuje jednoduchý příklad zahrnující etalon hmotnosti a váhy, které mají být ověřeny, nyní tato příloha rozebírá, jak může chyba měření a nejistota měření koexistovat při pohledu na měření v kontextu ověřování.

Stejně jako v kapitole 3 GUM bude tato příloha zpočátku zaměřena na zvážení chyby měření a nejistoty měření z hlediska popisu cíle měření. K tomu bude použita terminologie VIM3 [10], která se v některých případech poněkud liší od terminologie GUM, důvody odlišnosti budou v případě potřeby vysvětleny. Některé z relevantních definic z VIM3 jsou uvedeny v kapitole 2 této příručky OIML.

Za cíl měření lze považovat vytvoření kvantitativního vyjádření o „měřené veličině“ prostřednictvím určitého druhu „experimentu“. Vyjádření obvykle zahrnuje koncept a termín „hodnota“ („hodnota veličiny“ ve VIM3), což je číslo a odkaz, které společně vyjadřují velikost „veličiny“. Referencí je obvykle „jednotka“ měření, která je přijata konvencí tak, že s ní lze porovnávat jiné veličiny stejného druhu.

Dříve před konceptem nejistoty měření bylo cílem měření získat výsledek měření, který byl obvykle vyjádřen jako nejlepší odhad „pravé“ hodnoty měřené veličiny a býval někdy doprovázen „analýzou chyb“, která obsahovala všechny systematické chyby (na něž měla být provedena „korekce“ při výpočtu nejlepšího odhadu) a popis „rozšíření“ náhodných chyb (pokud bylo provedeno více než jedno pozorování), které se vyskytly během měření. Koncept metrologické návaznosti byl použit pro vyjádření výsledku měření pomocí vhodné jednotky měření vytvořením řetězce porovnání nebo kalibrací k realizaci jednotky měření. Kromě uvedení možných systematických chyb spojených s řetězcem návaznosti nebylo obvykle uvedeno nic dalšího o dalších možných zdrojích systematických chyb.

Jak již bylo probráno dříve, koncept nejistoty měření zásadně změnil způsob, jakým metrologové přemýšlejí o cíli měření. Nejpozoruhodnější je, že jednou ze základních premis přístupu GUM je, že je možné charakterizovat kvalitu měření rovnocenným zohledněním náhodných i systematických „vlivů“, čímž se zpřesní informace dříve poskytnuté v analýze

chyb, a uvést to na pravděpodobnostní bázi. Namísto vyjádření výsledku měření jako nejlepšího odhadu „pravé“ hodnoty měřené veličiny spolu s analýzou chyb je třeba výsledek měření vyjádřit jako nejlepší odhad „pravé“ hodnoty měřené veličiny spolu s nejistotou měření, což je míra toho, nakolik se má za to, že je uvedený nejlepší odhad známý (na základě naměřených dat a dalších znalostí, typicky týkajících se systematických vlivů, a na předpokladu, že při provádění měření nedošlo k žádným chybám).

Pravděpodobnostní základ přístupu GUM vychází především z jiného základního předpokladu GUM (3.3.1), kterým je, že není možné znát pravou hodnotu měřené veličiny: „Výsledek měření po korekci na rozpoznané systematické vlivy je stále pouze odhadem hodnoty měřené veličiny kvůli nejistotě vyplývající z náhodných vlivů a nedokonalé korekce výsledku na systematické vlivy“. Toto je velmi zásadní a důležitý bod, který je třeba mít na paměti. Další související úvaha, diskutovaná v kapitole D.3.4 GUM, je, že neexistuje nic takového jako jedinečná pravá hodnota měřené veličiny, protože na určité úrovni vždy existuje „vnitřní“ nejistota kvůli nutně neúplné definici měřené veličiny. (VIM3 to označuje jako „definiční nejistotu“.) Ustanovení 1.2 GUM vysvětluje, že proto není možné mít jedinečnou, pravou hodnotu měřené veličiny, ale že je možné mít pouze „zásadně jedinečnou“ pravou hodnotu, která, jak již bylo zmíněno dříve, je dosud v této příručce zkráceně označována jako „pravá“ hodnota.

Všimněte si, že Poznámka v 3.1.1 GUM vysvětluje, proč GUM považuje termíny „hodnota měřené veličiny“ a „pravá hodnota měřené veličiny“ za „ekvivalentní“, a proto používá pouze termín „hodnota“, přičemž je míněn pojem „pravá“ hodnota (jak je definován v B.2.3 GUM), t.j. hodnota konzistentní s definicí měřené veličiny. VIM3 [10] a tato příručka nepřebírají tuto konvenci GUM a v souvislosti s tímto významem používají termín „pravá hodnota“, protože termín „hodnota“ je již používán v obecnějším smyslu uvedeném výše. Jinak je matoucí používat jediný termín „hodnota“ ve dvou různých významech [12].

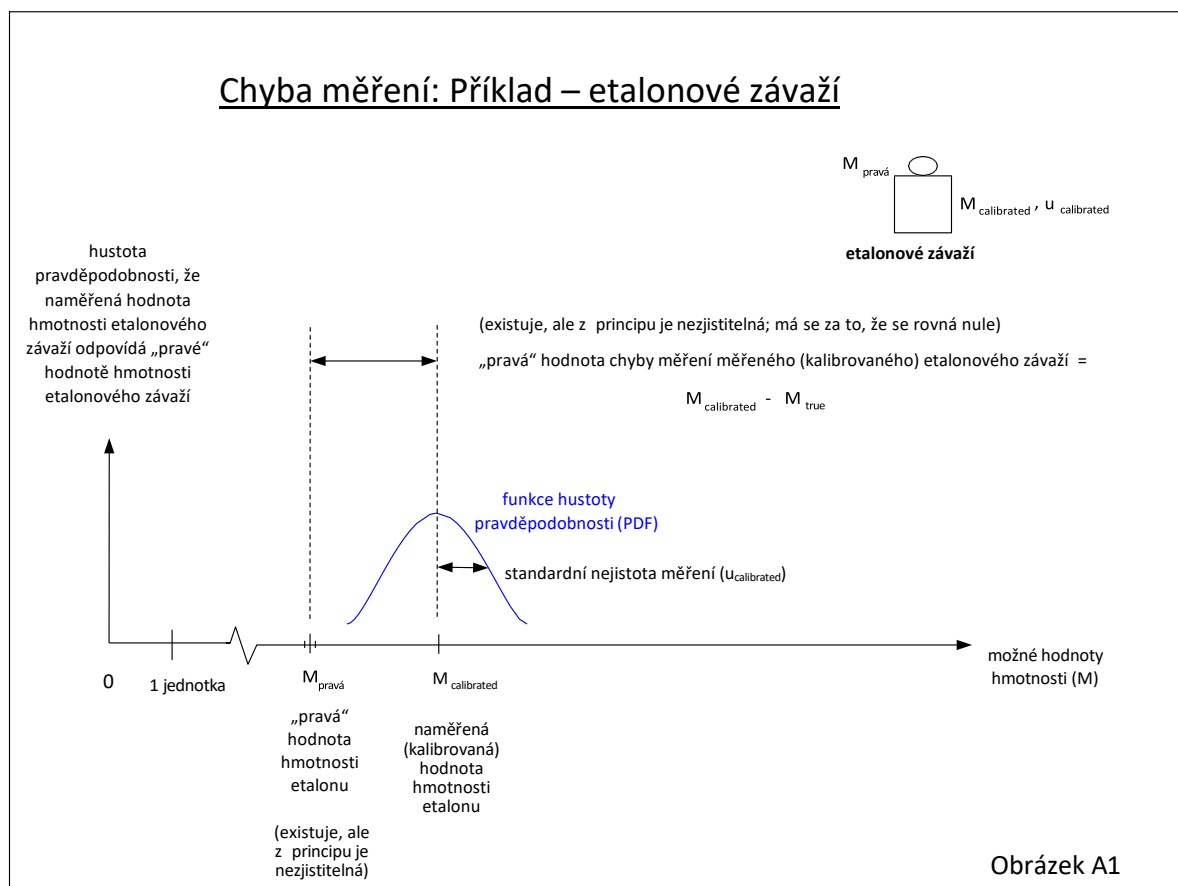
Kromě pojmu „chyba“ je „přesnost“ dalším pojmem (a termínem), kterému se GUM brání, alespoň v kvantitativním smyslu. Je to proto, že „přesnost“ je obvykle chápána v opačném smyslu než „chyba“, na podkladě toho, že čím větší chyba, tím nižší přesnost. Protože „chyba“ nemůže být podle GUM známa, nemůže být známa ani „přesnost“. Proto je třeba v doporučeních OIML věnovat pozornost tomu, jak je termín „přesnost“ používán, a to jak v souvislosti s „třídami přesnosti“, tak i v obecném smyslu. Třídy přesnosti mají podávat informace o tom, jaké úrovně MPE je schopno měřidlo, které splňuje danou třídu přesnosti, dosáhnout.

Metrologická návaznost je i nadále velmi důležitým pojmem v přístupu k měření z hlediska nejistot (užívaný GUM) a ve skutečnosti přebírá další aspekt, který ji velmi úzce spojuje s pojmem nejistoty měření. Kromě toho, že slouží jako základ pro vytvoření řetězce porovnání nebo kalibrací zpět k jednotce měření, aby bylo možné vyjádřit „naměřenou hodnotu“ v jednotkách měření, používá se koncept metrologické návaznosti také k tomu, aby bylo možné sledovat vývoj nejistoty měření v řetězci návaznosti. V tomto ohledu jsou metrologická návaznost a nejistota měření neoddělitelně spojeny [14], jak je explicitně prokázáno v definici metrologické návaznosti VIM3 (a VIM2).

A.1 Kalibrace

Pojmy „jednotka měření“, „pravá hodnota“, „chyba měření“ a „standardní nejistota měření“ jsou znázorněny na obrázku A1 v kontextu měření (kalibrace) etalonového závaží, které je schematicky znázorněno vpravo nahoře. Předpokládá se, že závaží je kalibrováno pomocí vysoce kvalitního měřicího systému, který není jinak zmíněn, nebo zobrazen. Kalibrační certifikát etalonového závaží obsahuje naměřenou hodnotu hmotnosti ($M_{\text{calibrated}}$) etalonového závaží spolu s příslušnou nejistotou měření etalonu ($u_{\text{calibrated}}$). Standardní nejistota měření (nebo rozšířená nejistota, $u_{\text{calibrated}}$) se získá při kalibraci etalonového závaží pomocí principu návaznosti zpět na jednotku měření znázorněnou na vodorovné ose obrázku. „Pravá“ hodnota hmotnosti etalonového závaží je také uvedena na obrázku, a to jak vpravo nahoře, tak i na vodorovné ose, kde je znázorněno, že existuje, ale v principu je neznámá. Malé svislé značky z obou stran vedle „pravé“ hodnoty hmotnosti etalonového závaží na vodorovné ose mají označovat definiční nejistotu spojenou s „pravou“ hodnotou.

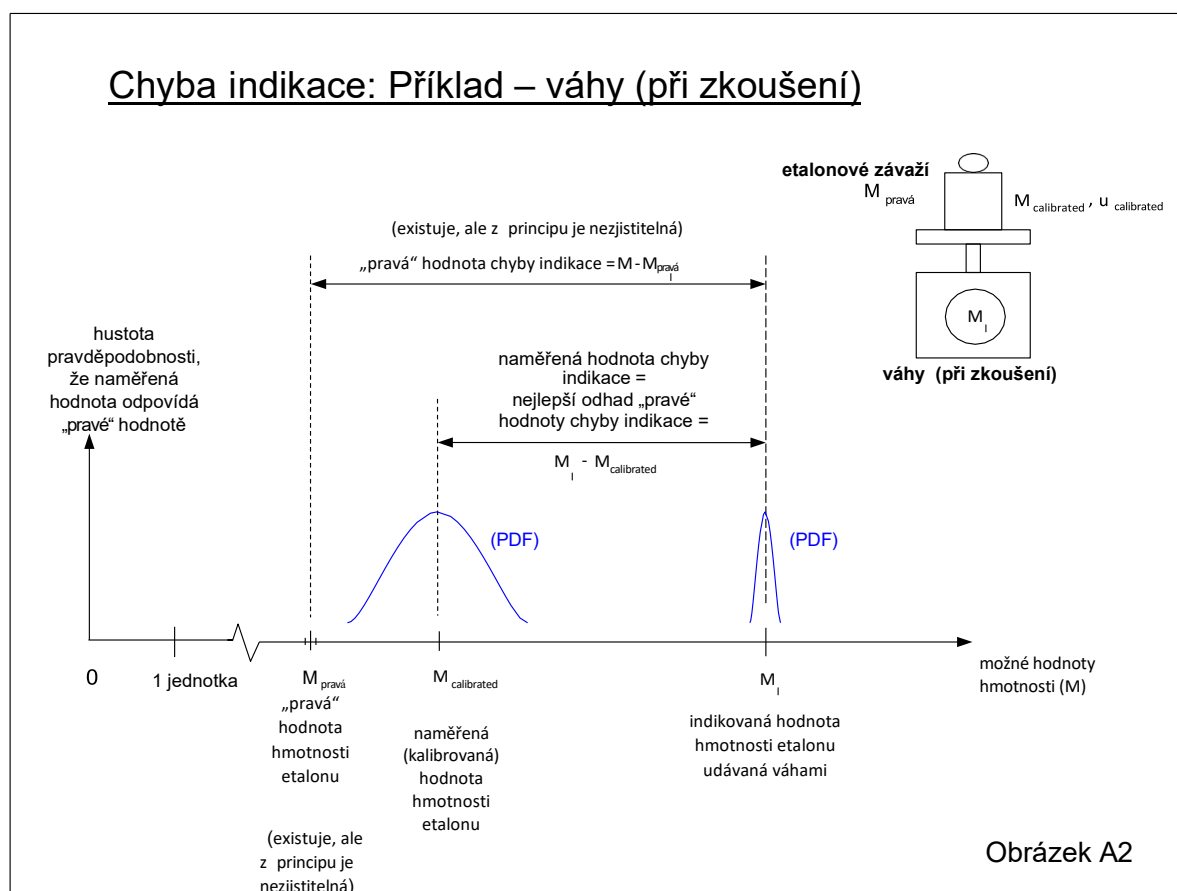
Na obrázku A1 je také znázorněna funkce hustoty pravděpodobnosti (PDF), která, jak je popsáno v 5.1, udává hustoty pravděpodobnosti, že „pravá“ hodnota hmotnosti etalonového závaží leží v nekonečně malé oblasti kolem konkrétní možné „pravé“ hodnoty hmotnosti etalonového závaží. Standardní nejistota měření ($u_{\text{calibrated}}$) se získá z PDF, obvykle jako směrodatná odchylka, jak je zobrazeno.



Obrázek A1 znázorňuje také „pravou“ hodnotu „chyby měření“ hmotnosti etalonového závaží, definovanou jako rozdíl mezi naměřenou (kalibrovanou) hodnotou hmotnosti etalonového závaží a „pravou“ hodnotou hmotnosti etalonového závaží. Důležitým bodem, který je třeba zaznamenat na obrázku A1, je, že tato chyba je považována za nezjistitelnou, protože „pravá“ hodnota hmotnosti standardního závaží je nezjistitelná. GUM odrazuje od používání konceptu chyby v některých kontextech, protože je v tomto kontextu měření „nezjistitelná“, a místo toho upřednostňuje použití nejistoty měření, protože nejistotu měření lze vypočítat, přičemž udává míru toho, nakolik člověk věří, že zná „pravou“ hodnotu hmotnosti etalonového závaží. Je velmi důležité mít na paměti, že v kontextu měření, navzdory možné realitě znázorněné na obrázku A1, se má za to, že „pravá“ hodnota chyby měření naměřené (kalibrované) hmotnosti etalonu měření je nulová, na základě všech dostupných informací z měření (kalibrace), protože pro všechny známé systematické chyby je třeba použít opravy.

A.2 Ověření

Nyní zvážíme situaci, kdy je kalibrované etalonové závaží použito pro účely ověření váhy, nikoli kalibrace, jak je znázorněno na obrázku A2. Při ověřovací zkoušce jsou indikované hodnoty veličiny měřené při ověřování zkoušeného měřidla porovnávány s kalibrovanými hodnotami (stejně veličiny) jako při použití etalonu.



Obrázek A2 obsahuje většinu stejných informací jako obrázek A1, ale navíc ukazuje hodnotu (M_I) indikace hmotnosti etalonového závaží, jak byla získána zkoušenou váhou. Jsou také

zobrazeny dvě „chyby indikace“, jedna s ohledem na „pravou“ hodnotu hmotnosti etalonového závaží (která je stále nezjistitelná) a další s ohledem na naměřenou (kalibrovanou) hodnotu hmotnosti etalonového závaží (která je známá). Jak je uvedeno na obrázku A2, naměřená hodnota chyby indikace se bere jako „nejlepší odhad“ „pravé“ hodnoty chyby indikace, protože, jak bylo diskutováno výše, „pravá“ hodnota chyby naměřené (kalibrované) hmotnosti etalonu (etalonového závaží) je považována za nulovou.

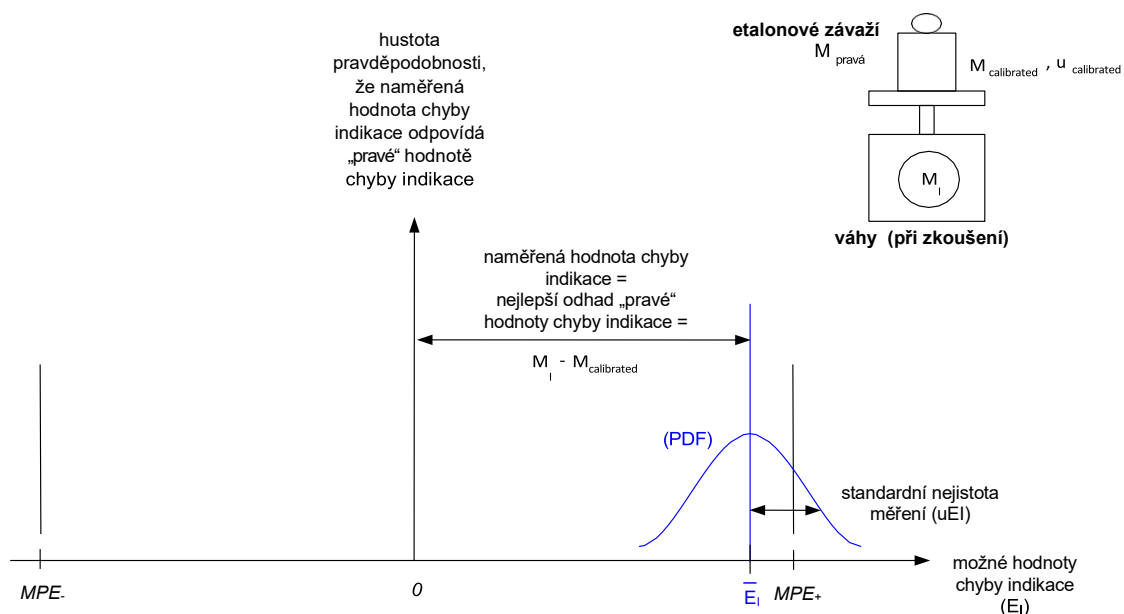
Zkoušení za účelem ověření se často provádí jak v „laboratorním“ prostředí, tak v prostředí mimo laboratoř. Účelem zkoušení při ověřování není „opravit“ nebo „nastavit“ indikovanou hodnotu na naměřenou (kalibrovanou) hodnotu etalonu hmotnosti, ale spíše posoudit, zda rozdíl (chyba indikace) mezi indikovanou hodnotou a kalibrovaná hodnota etalonu hmotnosti je v přijatelných mezích nejvyšších dovolených chyb (MPE, viz kapitola 4), jak je vyjádřeno v předpisech (např. v doporučení OIML). I když je vysoce žádoucí, aby chyba indikace byla malá (a dokonce nulová), při ověřování testování tomu tak není.

Při zkoušení typu v kontrolovaném laboratorním prostředí je běžné zařazovat zkoušky, kde se veličiny ovlivňující indikovanou hodnotu měřidla (tzv. ovlivňující veličiny, jako je okolní teplota a vlhkost) řízeně mění, zatímco vše ostatní zůstává stejné (včetně měřeného množství, což je v tomto příkladu etalon hmotnosti). Povolená odchylka chyby indikace za takových podmínek je buď uvedena v doporučení OIML, nebo je ponechána na národní regulaci. Při posuzování, zda je taková zkouška ovlivňující veličiny vyhovující, je důležité vzít v úvahu nejistotu měření spojenou s měřením ovlivňující veličiny.

Na obrázku A2 jsou také zobrazeny dvě křivky PDF. Křivka vlevo je tatáž křivka PDF jako na obrázku A1. Ta vpravo je pro indikovanou hodnotu hmotnosti etalonového závaží (zdroje této nejistoty mohou pocházet z nestability (jitter) indikované hodnoty, konečného rozlišení indikátoru a dalších náhodných efektů, které obecně přispívají k nedostatečné opakovatelnosti při získávání více hodnot chyby indikace). Všimněte si, že šířka PDF pro M_I je na obrázku znázorněna jako výrazně menší než šířka PDF pro $M_{\text{calibrated}}$ (řekněme, pokud je rozlišení a opakovatelnost indikované hodnoty hmotnosti poměrně malá ve srovnání s nejistotou kalibrované hmotnosti), ale nemusí to být vždy pravda. (Všimněte si také, že tyto dvě křivky PDF nejsou zobrazeny vzájemně v měřítku.) Je žádoucí použít informace těchto dvou křivek PDF, aby mohlo být učiněno prohlášení o tom, do jaké míry se má za to, že je známa „pravá“ hodnota chyby indikace. To je znázorněno na obrázku A3.

Všimněte si, že vodorovná osa na obrázku A3 je nyní změněna oproti ose na obrázcích A1 a A2 a je označena jako „možné hodnoty chyby indikace“. Velikost naměřené hodnoty chyby indikace je stejná, jako je uvedena na obrázku A2, a jak bylo uvedeno výše, je nejlepším odhadem „pravé“ hodnoty chyby indikace. Křivku PDF lze zkonstruovat za předpokladu, když hustota pravděpodobnosti, že „pravá“ hodnota chyby indikace leží v nekonečně malé oblasti kolem konkrétní možné „pravé“ hodnoty chyby indikace. Taková křivka PDF je znázorněna na obrázku A3 spolu s přidruženou standardní nejistotou měření (u_{E_I}). Tato PDF se získá spojením (někdy nazývaným konvolucí) dvou PDF na obrázku A2 [2]. Je zajímavé poznamenat, že u_{E_I} je „standardní nejistota chyby (indikace)“, která výslovně demonstruje koexistenci termínů a pojmů/konceptů „nejistota“ a „chyba“ ve scénáři zkoušení.

Chyba indikace: Příklad – váhy (při zkoušení)



Obrázek A3

A.2 Stručné shrnutí

Stručně řečeno, zatímco koncept „nejistoty měření“ byl vyvinut, aby nahradil koncept „chyby měření“ a „analýzy chyb“ v kontextu provádění měření, termín a koncept „chyby“ zůstává užitečný v kontextu ověřování měřidel a systémů. Ve skutečnosti má smysl mluvit o nejistotě naměřené chyby indikace! Nejistota měření spojená s etalonem (etalony) použitým při provádění ověření musí být zohledněna při přijímání rozhodnutí o (pravděpodobnostním) posouzení shody, protože přispívá ke standardní nejistotě měření chyby indikace (u_{E_I}).

Příloha B

Použití tabulky distribuční funkce normovaného normálního rozdělení (Z-tabulka)

Tato příloha je převzata z příručky NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods (<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3671.htm>).

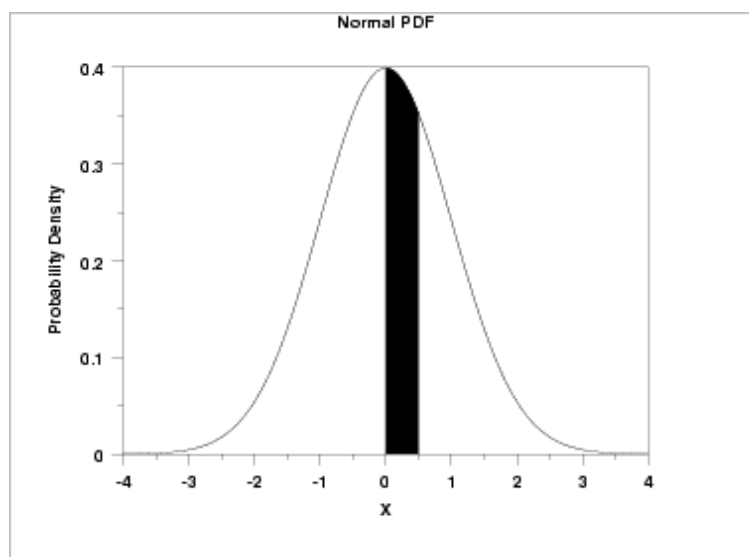
Obecný vzorec [funkce hustoty pravděpodobnosti](#) normálního rozdělení je

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

Kde μ je [charakteristika polohy](#) a σ je [parametr měřítka](#). Příklad, kdy $\mu = 0$ a $\sigma = 1$, se nazývá **normované normální rozdělení**. Rovnice normovaného normálního rozdělení je

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}}$$

Níže uvedený obrázek znázorňuje normované normální rozdělení (někdy také označované jako normální, Gaussovo rozdělení). Stínovaná oblast pod křivkou představuje pravděpodobnost, že parametr x je mezi 0 a α (na obrázku $\alpha = 0,5$).



Vysvětlivky ke grafu:

normal PDF

funkce hustoty pravděpodobnosti normálního (Gaussova) rozdělení

probability density

hustota pravděpodobnosti

Hodnoty ploch pod křivkou pro diskrétní hodnoty α lze získat z níže uvedené tabulky normovaného normálního rozdělení.

Tabulka normovaného normálního rozdělení

Níže uvedená tabulka obsahuje plochu pod křivkou normálního rozdělení od $x = 0$ do hodnoty dané $x = \alpha$.

Area under the Normal Curve from $X = 0$ to $X = \alpha$

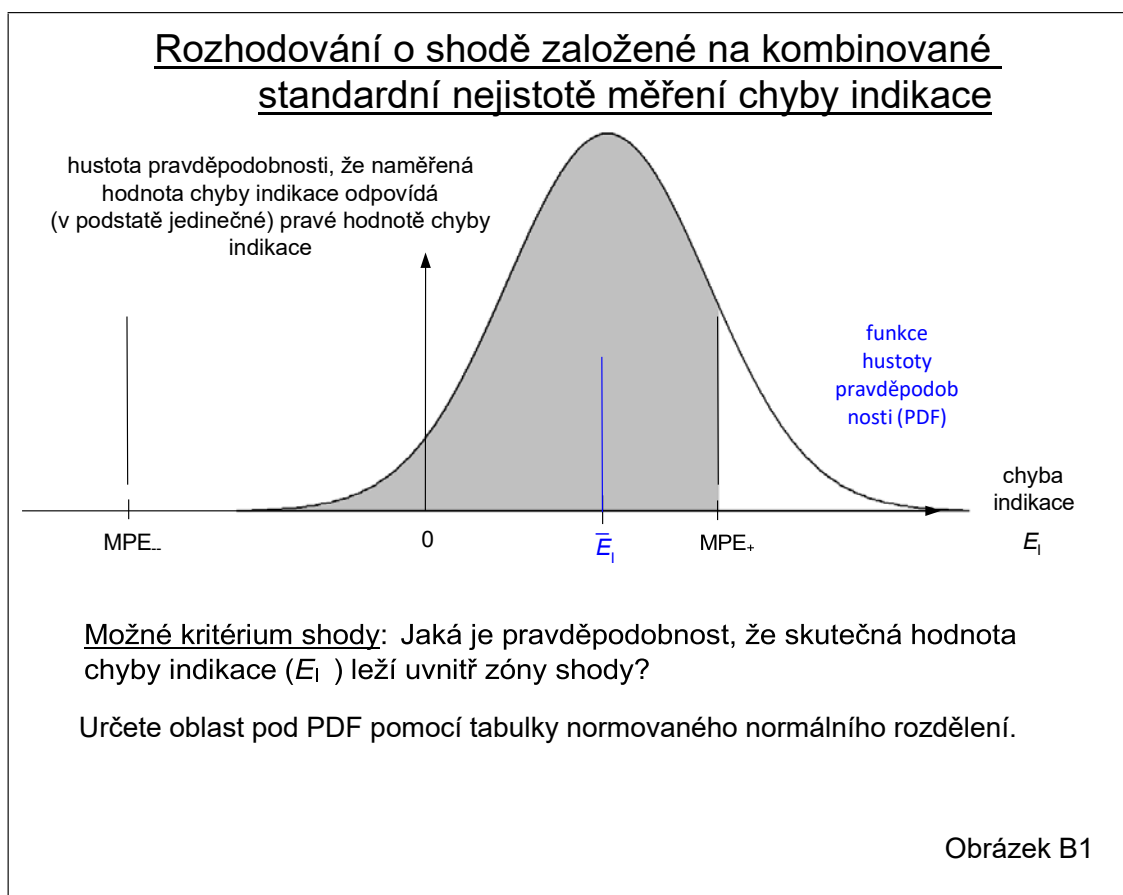
α	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.00000	0.00399	0.00798	0.01197	0.01595	0.01994	0.02392	0.02790	0.03188	0.03586
0.1	0.03983	0.04380	0.04776	0.05172	0.05567	0.05962	0.06356	0.06749	0.07142	0.07535
0.2	0.07926	0.08317	0.08706	0.09095	0.09483	0.09871	0.10257	0.10642	0.11026	0.11409
0.3	0.11791	0.12172	0.12552	0.12930	0.13307	0.13683	0.14058	0.14431	0.14803	0.15173
0.4	0.15542	0.15910	0.16276	0.16640	0.17003	0.17364	0.17724	0.18082	0.18439	0.18793
0.5	0.19146	0.19497	0.19847	0.20194	0.20540	0.20884	0.21226	0.21566	0.21904	0.22240
0.6	0.22575	0.22907	0.23237	0.23565	0.23891	0.24215	0.24537	0.24857	0.25175	0.25490
0.7	0.25804	0.26115	0.26424	0.26730	0.27035	0.27337	0.27637	0.27935	0.28230	0.28524
0.8	0.28814	0.29103	0.29389	0.29673	0.29955	0.30234	0.30511	0.30785	0.31057	0.31327
0.9	0.31594	0.31859	0.32121	0.32381	0.32639	0.32894	0.33147	0.33398	0.33646	0.33891
1.0	0.34134	0.34375	0.34614	0.34849	0.35083	0.35314	0.35543	0.35769	0.35993	0.36214
1.1	0.36433	0.36650	0.36864	0.37076	0.37286	0.37493	0.37698	0.37900	0.38100	0.38298
1.2	0.38493	0.38686	0.38877	0.39065	0.39251	0.39435	0.39617	0.39796	0.39973	0.40147
1.3	0.40320	0.40490	0.40658	0.40824	0.40988	0.41149	0.41308	0.41466	0.41621	0.41774
1.4	0.41924	0.42073	0.42220	0.42364	0.42507	0.42647	0.42785	0.42922	0.43056	0.43189
1.5	0.43319	0.43448	0.43574	0.43699	0.43822	0.43943	0.44062	0.44179	0.44295	0.44408
1.6	0.44520	0.44630	0.44738	0.44845	0.44950	0.45053	0.45154	0.45254	0.45352	0.45449
1.7	0.45543	0.45637	0.45728	0.45818	0.45907	0.45994	0.46080	0.46164	0.46246	0.46327
1.8	0.46407	0.46485	0.46562	0.46638	0.46712	0.46784	0.46856	0.46926	0.46995	0.47062
1.9	0.47128	0.47193	0.47257	0.47320	0.47381	0.47441	0.47500	0.47558	0.47615	0.47670
2.0	0.47725	0.47778	0.47831	0.47882	0.47932	0.47982	0.48030	0.48077	0.48124	0.48169
2.1	0.48214	0.48257	0.48300	0.48341	0.48382	0.48422	0.48461	0.48500	0.48537	0.48574
2.2	0.48610	0.48645	0.48679	0.48713	0.48745	0.48778	0.48809	0.48840	0.48870	0.48899
2.3	0.48928	0.48956	0.48983	0.49010	0.49036	0.49061	0.49086	0.49111	0.49134	0.49158
2.4	0.49180	0.49202	0.49224	0.49245	0.49266	0.49286	0.49305	0.49324	0.49343	0.49361
2.5	0.49379	0.49396	0.49413	0.49430	0.49446	0.49461	0.49477	0.49492	0.49506	0.49520
2.6	0.49534	0.49547	0.49560	0.49573	0.49585	0.49598	0.49609	0.49621	0.49632	0.49643
2.7	0.49653	0.49664	0.49674	0.49683	0.49693	0.49702	0.49711	0.49720	0.49728	0.49736
2.8	0.49744	0.49752	0.49760	0.49767	0.49774	0.49781	0.49788	0.49795	0.49801	0.49807
2.9	0.49813	0.49819	0.49825	0.49831	0.49836	0.49841	0.49846	0.49851	0.49856	0.49861
3.0	0.49865	0.49869	0.49874	0.49878	0.49882	0.49886	0.49889	0.49893	0.49896	0.49900
3.1	0.49903	0.49906	0.49910	0.49913	0.49916	0.49918	0.49921	0.49924	0.49926	0.49929
3.2	0.49931	0.49934	0.49936	0.49938	0.49940	0.49942	0.49944	0.49946	0.49948	0.49950
3.3	0.49952	0.49953	0.49955	0.49957	0.49958	0.49960	0.49961	0.49962	0.49964	0.49965
3.4	0.49966	0.49968	0.49969	0.49970	0.49971	0.49972	0.49973	0.49974	0.49975	0.49976
3.5	0.49977	0.49978	0.49978	0.49979	0.49980	0.49981	0.49981	0.49982	0.49983	0.49983
3.6	0.49984	0.49985	0.49985	0.49986	0.49986	0.49987	0.49987	0.49988	0.49988	0.49989
3.7	0.49989	0.49990	0.49990	0.49990	0.49991	0.49991	0.49992	0.49992	0.49992	0.49992
3.8	0.49993	0.49993	0.49993	0.49994	0.49994	0.49994	0.49994	0.49995	0.49995	0.49995
3.9	0.49995	0.49995	0.49996	0.49996	0.49996	0.49996	0.49996	0.49996	0.49997	0.49997

V této příručce je α definována jako

$$\alpha = [(MPE_+ - \bar{E}_I) / u_{E_I}] \quad (B.1)$$

pro případ, kdy $\bar{E}_I > 0$. Případ, kdy $\bar{E}_I < 0$ bude diskutován později.

Příslušné parametry ilustruje obrázek B1.



Příklad

Uvažujme individuální zkoušku délkového měřidla, jako je liniové měřidlo, kde indikovaná hodnota délky (L_I) je 1,0006 m, přičemž hodnota referenční délky vysoce přesného liniového měřidla (L_R), získaná z jeho kalibračního listu, je 1,0003 m. Naměřená hodnota chyby indikace je pak:

$$E_I = L_I - L_R = 0,0003 \text{ m} = 300 \text{ } \mu\text{m} \quad (B.2)$$

Řekněme, že výsledkem vyhodnocení standardní nejistoty chyby indikace je

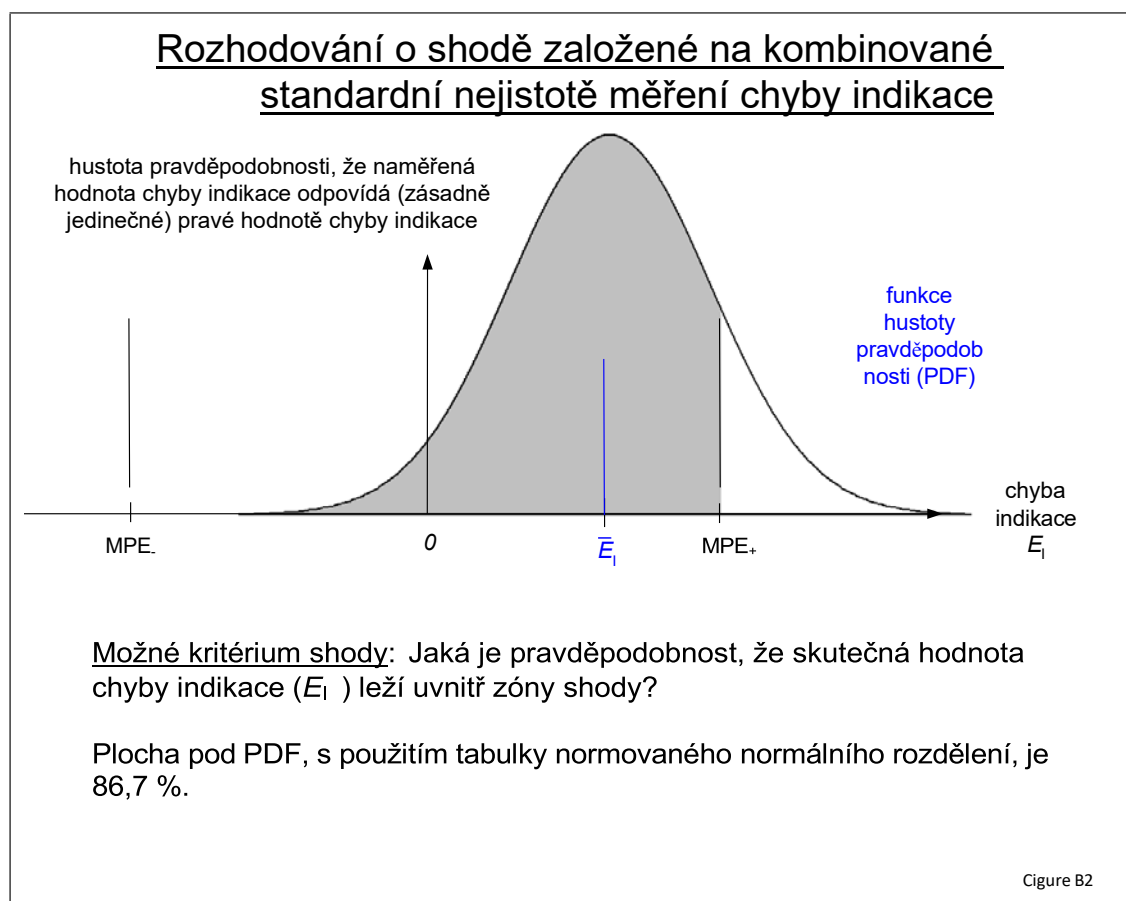
$$u_{E_I} = 180 \text{ } \mu\text{m} \quad (B.3)$$

Pokud je pro tuto konkrétní zkoušku dána MPE 500 μm , pak se α vypočítá jako

$$\alpha = [(MPE_+ - \bar{E}_I) / u_{E_I}] = [(500 - 300) / 180] = 1.11 \quad (\text{B.4})$$

V tabulce normovaného normálního rozdělení uvedené výše najdeme položku pro 1,11 na průsečíku řádku, v němž je v levém sloupci se záhlavím α uvedeno „1.1“ a položky v totéž řádku ve sloupci se záhlavím „0,01“. Hodnota uvedená v tomto průsečíku je 0,3665.

To znamená, že plocha pod křivkou mezi $\bar{E}_I$ a MPE_+ na obrázku B1 je 0,3665. Vzhledem k tomu, že plocha pod křivkou nalevo od $\bar{E}_I$ je 0,5000, pravděpodobnost (za předpokladu, že při měření nedošlo k žádným chybám), že skutečná hodnota chyby indikace je v rámci zóny shody, je $0,3665 + 0,5000$, tj. 0,8665 (86,7 %). Riziko nesprávného přijetí je tedy $p_{fa} = 1 - 0,8665 = 0,133 = 13,3$ %. Všimněte si, že $f_{E_I} = u_{E_I} / MPE = 0,36$, takže zkouška s nejvyšší dovolenou nejistotou by selhala, pokud by maximální hodnotou f_{E_I} pro tuto zkoušku byla stanovena 1/3.



V případě, že $\bar{E}_I$ je menší než 0, lze opět použít tabulku normovaného normálního rozdělení s využitím symetrie Gaussovy křivky, ale pak je nutné definovat α podle:

$$\alpha = [(\bar{E}_I - MPE_-) / u_{E_I}] \quad (\text{B.5})$$

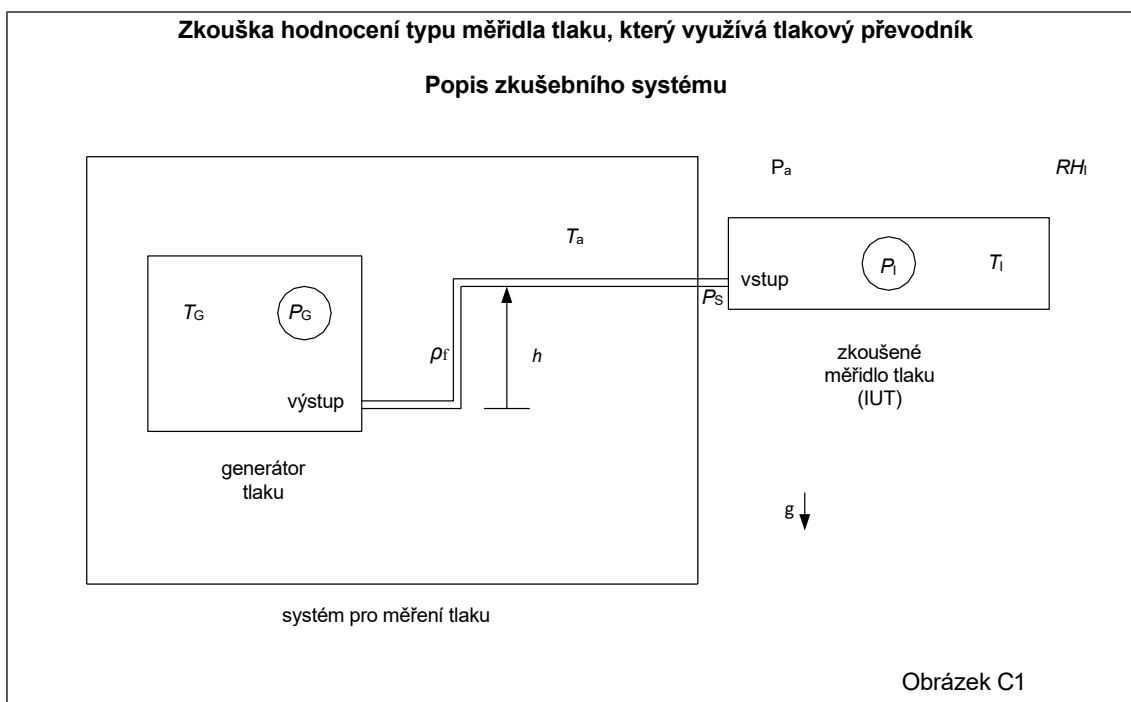
Příloha C

Příklad stanovení nejistoty měření chyby indikace

Zvažme případ začlenění nejistoty měření do rozhodovacího procesu (vyhověl/nevyhověl) pro zkoušku hodnocení typu měřidla tlaku, který využívá tlakový převodník.

Postupujeme podle kroků uvedených v 8.2 (jednotlivé kroky jsou popsány kurzívou):

(Krok 1) Popište zkoušené měřidlo (IUT) spolu s měřicím systémem, který bude použit pro provedení zkoušky (zkoušek). Do popisu zahrňte všechny ovlivňující veličiny, které mohou ovlivnit jak zkoušené měřidlo, tak zkušební zařízení (měřidlo/systém), a specifikujte podmínky (pokud existují), při kterých budou všechny ovlivňující veličiny během zkoušení udržovány, případně rozsah(y), v jejichž mezích musí ovlivňující veličiny zůstat během zkoušení (např. jmenovité provozní podmínky a/nebo referenční provozní podmínky jak zkušebního měřidla/systému, tak IUT).



Zkoušeným měřidlem (IUT) je přístroj na měření tlaku, který využívá tlakový převodník, který bude pro ilustraci považován za nakonfigurovaný v takzvaném „režimu měření“, což znamená, že jedna strana převodníku je otevřená na okolní (atmosférický) tlak (na obrázku C1 označený P_a).

IUT je umístěno tak, že je buď umístěno na podložce, která je otevřená do atmosféry (jako na obrázku C1), nebo je umístěno v komoře, kde lze regulovat teplotu a relativní vlhkost. Teplota IUT je označena jako T_I a relativní vlhkost je označena jako RH_I . Vstup do IUT je vyznačen na obrázku a to určuje referenční úroveň IUT s ohledem na indikovaný tlak P_I v režimu měření.

Systém měření tlaku je označen tečkovaným obdélníkem a skládá se z generátoru tlaku a tuhého potrubí, které spojuje výstup generátoru tlaku se vstupem IUT. Je známo, že provozní

tekutina (která musí být specifikována) má hmotnostní hustotu označenou ρ_f a výška referenční úrovně IUT nad výškou generátoru tlaku je označena h (i když bude generátor tlaku umístěn na stejné podložce, obě referenční úrovně se budou pravděpodobně lišit). Tlak generovaný generátorem tlaku v režimu měření tlaku na své referenční úrovni se označuje P_G a teplota generátoru tlaku je označena T_G , která se může lišit od teploty okolního vzduchu, označené T_a . Lokální tíhové zrychlení v místě zkoušky je uvedeno jako g .

Ovlivňující veličiny, které mohou ovlivnit výsledek zkoušky, jsou pak P_a , T_a , T_G , RH_I a T_I . První tři nebudou během žádné ze zkoušek regulovány, ale budou pouze měřeny (T_G bude monitorována, aby bylo zajištěno, že generátor tlaku vždy pracuje v rozsahu svých jmenovitých provozních podmínek). Na druhé straně některé ze zkoušek budou zahrnovat změny (a měření) teploty IUT (T_I) a relativní vlhkosti vzduchu obklopujícího IUT (RH_I).

Ostatní parametry zkoušky h , g a ρ_f nejsou považovány za ovlivňující veličiny, protože neovlivňují IUT (ani generátor tlaku).

(Krok 2) Identifikujte všechny různé druhy zkoušek, které bude nutné provést pro účely hodnocení typu. Na základě popisu v kroku 1 vytvořte matematický model měření, který bude použit pro provedení každého z druhů zkoušek. Každý model musí v konečném důsledku poskytovat výraz pro „chybu indikace“ a také obsahovat výraz pro standardní nejistotu měření, která má být spojena s každou naměřenou chybou indikace (pokud nemají být opakovaně měřeny chyby indikace, v takovém případě má být uvedena střední hodnota chyby indikace spolu se související standardní nejistotou měření, která zahrnuje složku získanou z opakovaných měření. Při analýze nejistoty je třeba zohlednit také rozsah hodnot chyb indikace, které lze získat, pokud IUT je v provozu kdekoli v rozsahu svých jmenovitých provozních podmínek.

Druhy zkoušek, které je třeba provést, jsou uvedeny v doporučeních OIML R 101 *Indicating and recording pressure gauges, vacuum gauges and pressure-vacuum gauges with elastic sensing elements (ordinary instruments)* a R 109 *Pressure gauges and vacuum gauges with elastic sensing elements (standard instruments)*. Zahrnuty jsou teplotní zkoušky, zkoušky vlhkosti a zkoušky hystereze.

Základní matematický model (pro chybu indikace) pro všechny z těchto druhů zkoušek je založen na tom, že nejprve se vytvoří matematický výraz pro nejlepší odhad „pravé“ hodnoty hydrostatického tlaku dodávaného systémem pro měření tlaku na vstup IUT (tento tlak je na obrázku C1 označen P_S):

$$P_S = P_G + (\rho_f - \rho_a) \cdot g \cdot h \quad (C.1)$$

kde ρ_a je hustota okolního vzduchu. Matematický model pro chybu indikace (E_I) měřidla je pak brán jako rozdíl mezi indikací, která by byla získána, kdyby na měřidlo (P_I) nepůsobily žádné náhodné vlivy, a nejlepším odhadem „pravé“ hodnoty hydrostatického tlaku (P_S) dodávaného systémem měření tlaku na vstup IUT:

$$E_I = P_I - P_S \quad (C.2)$$

Kombinovaná standardní nejistota samostatně naměřené hodnoty chyby indikace se pak získá z rovnice 10 uvedené v GUM:

$$u_{E_I}^2 = u_{P_I}^2 + u_{P_S}^2 \quad (C3)$$

kde u_{P_I} zahrnuje pouze omezení rozlišení a „jitter“ indikace IUT a

$$u_{P_S}^2 = \sum_i \left(\frac{\partial P_S}{\partial x_i} \right)^2 u_{x_i}^2 \quad (C4)$$

Suma přes index i pokrývá všechny veličiny, na nichž závisí P_S . (Všimněte si, že rovnice C.3 a C.4 jsou založeny na předpokladu, že mezi veličinami neexistuje žádná korelace. Pokud taková korelace existuje, musí se použít rovnice 13 uvedená v GUM). Z rovnic C.1 a C.4:

$$u_{P_S}^2 = u_{P_G}^2 + (g \cdot h)^2 \cdot u_{\rho_f}^2 + (-g \cdot h)^2 \cdot u_{\rho_a}^2 + [(\rho_f - \rho_a) \cdot h]^2 \cdot u_g^2 + [(\rho_f - \rho_a) \cdot g]^2 \cdot u_h^2 \quad (C5)$$

kde jednotlivé složky nejistoty měření je nutné získat z různých zdrojů, jako jsou tabulky nebo kalibrační certifikáty. (Upozorňujeme, že u_{ρ_a} samotné závisí na teplotě a relativní vlhkosti vzduchu). Rovnici C.5 lze poté zkombinovat s rovnicí 3 a získat tak výraz pro kombinovanou standardní nejistotu a přidružit ji k samostatně naměřené hodnotě chyby indikace.

Pro každý druh zkoušky pro hodnocení typu je však nutné zahrnout také složku nejistoty měření pro opakovatelnost zkoušky (označovanou u_{rep}). Toho lze dosáhnout provedením série opakovaných „identických“ měření a výpočtem směrodatné odchylky naměřených hodnot nebo získáním takových informací z měření provedených dříve (musí být specifikována použitá metoda).

Dále má být IUT posouzeno z hlediska možných změn indikace (pro daný vstup) vzhledem k tomu, že měřidlo je vystaveno pravděpodobným současným změnám provozních podmínek během použití v prostředí mimo laboratoř. Složka nejistoty (označovaná u_{roc}), možná získaná jako směrodatná odchylka souboru hodnot získaných při náhodných změnách provozních podmínek IUT v rozsahu jmenovitých provozních podmínek, by měla být také po zohlednění zahrnuta do konečného výrazu pro u_{E_I} :

$$u_{E_I}^2 = u_{P_I}^2 + u_{P_S}^2 + u_{rep}^2 + u_{roc}^2 \quad (C6)$$

kde se $u_{P_S}^2$ získá z rovnice C.5.

Uvažujme konkrétní zkoušku hodnocení typu, kde je IUT provozováno při svém maximálním jmenovitém provozním tlaku 1,01 MPa (10 atmosfér). Nechte generátor tlaku nastavit tak, aby generoval tlak (P_G) 1,0000 MPa, s nejistotou (u_{P_G}) uvedenou v jeho kalibračním certifikátu, 0,0001 MPa (nebo 100 Pa).

Provozní tekutina je kapalina s hmotnostní hustotou (udanou výrobcem) 900 kg/m³ a příslušnou udanou nejistotou měření (u_{ρ_f}) 10 %, resp. 90 kg/m³. Hustota okolního vzduchu (ρ_a)

závisí na teplotě vzduchu (T_a) [naměřeno 23 °C, s nejistotou 0,01 °C], atmosférickém tlaku (P_a) [naměřeno 0,10147 MPa, s nejistotou 0,00010 MPa] a relativní vlhkosti (RH) [naměřeno 60 %, s nejistotou 5 %]. Pomocí známých rovnic pro výpočet hustoty vzduchu je ρ_a vypočtena na 1,194 kg/m³ s nejistotou 0,005 kg/m³.

Protože celkové kolísání místního tíhového zrychlení (g) nad povrchem Země může být až 0,5 %, je třeba hodnotu místního tíhového zrychlení stanovit s nejistotou vhodnou pro tento účel. K dispozici jsou tabulky hodnot podle zeměpisné šířky a výšky nad hladinou moře. Pro tuto konkrétní zkoušku se z tabulky získá hodnota $g = 9,79560 \text{ m/s}^2$ s nejistotou (u_g) 0,00005 m/s².

Hodnota výška (h) referenční úrovně IUT nad referenční úrovní generátoru tlaku je naměřena 0,0213 m, s nejistotou měření (u_h) 0,0001 m.

(Krok 3) Vypočítejte související standardní nejistotu měření (u_{P_S}) etalonu nebo systému měření.

Standardní nejistotu měření (u_{P_S}) tlaku dodávaného měřicím systémem na vstup IUT lze vypočítat pomocí rovnice C.5 jako

$$\begin{aligned}
 u_{P_S}^2 &= (100)^2 + (9.79560 \cdot 0.0213)^2 \cdot (90)^2 + (-9.79560 \cdot 0.0213)^2 \cdot (0.005)^2 \\
 &\quad + [(900 - 1.194) \cdot 0.0213]^2 \cdot (0.00005)^2 + [(900 - 1.194) \cdot 0.0213]^2 \cdot (0.0001)^2 \\
 &= [10^4 + 352.62 + 1.09 \times 10^{-6} + 9.16 \times 10^{-7} + 0.775] \text{ Pa}^2 \\
 &\approx 10\,353 \text{ Pa}^2,
 \end{aligned}
 \tag{C.7}$$

nebo

$$u_{P_S} \approx 102 \text{ Pa}$$

Z této analýzy je okamžitě vidět, že nejistota hodnoty generovaného tlaku dominuje celkové nejistotě tlaku dodávaného na vstup IUT, následovaná nejistotou hustoty provozní kapaliny. Taková analýza pomáhá určit, kde by se v případě potřeby dalo neefektivněji vynaložit úsilí vedoucí ke snížení nejistoty tlaku dodávaného na vstup IUT.

(Krok 4) Vypočítejte standardní nejistotu měření (u_{P_I}) spojenou s indikovanou hodnotou měřené veličiny (včetně složek daných rozlišením indikátoru a/nebo náhodného kolísání).

Zjištěné náhodné fluktuace (jitter) indikovaného tlaku (P_I) IUT pro pevný vstupní tlak 1,01 MPa a pro provozní podmínky IUT udržované za stanovených referenčních podmínek jsou $\pm 15 \text{ Pa}$, což se přenáší ve složku nejistoty $u_{P_I} 15/\sqrt{3} = 8,7 \text{ Pa}$. Všimněte si, že faktor $\sqrt{3}$ pochází z toho, že se s nejistotou zachází jako s rovnoměrným rozdělením (viz GUM, článek 4.3.7). Jiná předpokládaná rozdělení by vedla k různým dělitelům.

Bylo zjištěno, že rozlišení indikace je 10 Pa, což udává složku nejistoty $u_{P_I} 10/\sqrt{12} = 2,9 \text{ Pa}$.

Kombinovaná standardní nejistota spojená s indikací IUT je potom

$$u_{P_1} = \sqrt{\left[(15/\sqrt{3})^2 + (5/\sqrt{3})^2\right]} = 9.13 \text{ Pa}$$

(Krok 5) Vypočítejte standardní nejistotu měření (u_{rep}) spojenou s opakovatelností nebo reprodukovatelností měřidlo/systému a/nebo zkušebního postupu.

Na IUT se provádí série zkoušek opakovatelnosti, kde podmínkou opakovatelnosti je, že tlak z generátoru tlaku je přerušovaně 50krát aplikován, přičemž vše ostatní zůstává konstantní. Mezi natlakováním je ponechán dostatečný čas, aby se ustavila tepelná rovnováha. Analyzovány jsou také účinky možné hystereze. Vypočtená směrodatná odchylka 50 hodnot (u_{SD}) se pak bere jako složka nejistoty měření, která se připisuje opakovatelnosti/reprodukovatelnosti pro tento konkrétní typ zkoušky. Jako příklad předpokládejme, že je vypočtena hodnota $u_{SD} = u_{rep} = 20 \text{ Pa}$.

(Krok 6) Vypočítejte standardní nejistotu měření (u_{roc}), pokud se zjistí, že se indikace měřidla mění, když je provozováno v rozsahu jmenovitých provozních podmínek pro určitý daný vstup měřidla.

Vraťme se ke zkušebním podmínkám v kroku 4, nyní systematicky měňte (pokud je to možné) provozní podmínky IUT v rozsahu jmenovitých provozních podmínek a sledujte odpovídající změny indikovaného tlaku P_1 . Opět, pokud je to možné, měňte provozní podmínky jak jednotlivě, tak i všechny najednou, aby se simulovaly možné podmínky (zkoušky teploty, vlhkosti, hystereze atd.), které mohou nastat při provozu IUT mimo prostředí laboratoře. Řekněme, že pro takovou zkoušku bylo zjištěno, že se indikovaný tlak mění o $\pm 30 \text{ Pa}$. Odpovídající složka nejistoty měření (u_{roc}) v důsledku (možné) změny provozních podmínek v rozsahu jmenovitých provozních podmínek je potom

$$u_{roc} = 30/\sqrt{3} = 17,3 \text{ Pa}$$

Všimněte si, že tato složka nejistoty měření je někdy explicitně považována za součást nejistoty měření chyby indikace, ale někdy je považována za zahrnutou konvencí do MPE, takže je třeba věnovat pozornost specifikaci, která konvence se používá. V tomto příkladu se tato složka nejistoty měření nepovažuje za zahrnutou do MPE.

(Krok 7) Zkombinujte všechny tyto složky nejistoty měření za účelem výpočtu kombinované standardní nejistoty měření (u_{E_1}) spojené s chybou indikace.

Nyní je možné vypočítat kombinovanou standardní nejistotu měření chyby indikace (u_{E_1}) pro konkrétní zkoušku hodnocení typu, kdy je IUT provozováno při svém maximálním jmenovitém provozním tlaku 1,01 MPa (10 atmosfér), jak je popsáno výše. Pomocí rovnice C.6:

$$\begin{aligned} u_{E_1}^2 &= u_{P_1}^2 + u_{P_S}^2 + u_{rep}^2 + u_{roc}^2 \\ &= (9.13)^2 + (102)^2 + (20)^2 + (17.3)^2 = 11\,187 \text{ Pa}^2 \end{aligned}$$

nebo

$$u_{E_1} = 105,8 \text{ Pa} \quad (\text{C.8})$$

I když tento příklad ukazuje prakticky vše, co je nutné zohlednit pro posouzení nejistoty měření chyby indikace pro jednotlivá měření pro tento typ měřidla (a může se tedy zdát poněkud komplikovaný), je důležité poznamenat, že po provedení veškerých těchto odvození a získání hodnot a souvisejících nejistot měření pro typické podmínky měření, proces získání hodnoty u_{E_1} pro každé následné jednotlivé měření tlaku provedené během dané zkoušky hodnocení typu by mělo být relativně jednoduché, protože většina složek nejistoty měření se mezi jednotlivými měřeními nezmění.

Ve skutečnosti je zajímavé poznamenat, že nejistota chyby indikace uvedená v rovnici C.8 byla získána, aniž by byly získány explicitní hodnoty pro jednotlivé chyby indikace, ale pro tuto zkoušku byla specifikována pouze nominální (maximální) hodnota tlaku. I když některé ze složek nejistoty měření se mohou při nižších tlacích snižovat, je někdy vhodné použít pouze (konzervativně) to, co je považováno za nejvyšší nejistotu pro určitý typ zkoušky během celého průběhu zkoušení.

Je také zajímavé poznamenat, že v tomto případě téměř veškerá nejistota v chybě indikace pochází z etalonu (tj. z generátoru tlaku). Není tomu tak ale vždy.

Nyní, když bylo představeno, jak posoudit nejistotu měření chyby indikace pro zkušební uspořádání v tomto příkladu, je nyní možné tento příklad rozšířit a zvážit, jak stanovit požadavky na MPE, nejvyšší přípustné nejistoty a možnosti rizika, které je třeba zohlednit při rozhodování o shodě. To bude provedeno v příloze D.

Příloha D

Příklad posouzení rizika zahrnující nejistotu měření

Pro každý určitý druh zkoušky má být v doporučení OIML uvedena diskuse a specifikace, jaká je vhodná MPE pro tento druh zkoušky. Například u zkoušky hodnocení typu by stanovená MPE měla odpovídat jedné z možných tříd přesnosti, pro kterou je měřidlo zkoušeno. Pro zkoušku za účelem ověření by měla být stanovená MPE založena na různých kritériích, která jsou uvedena v kapitole 6.

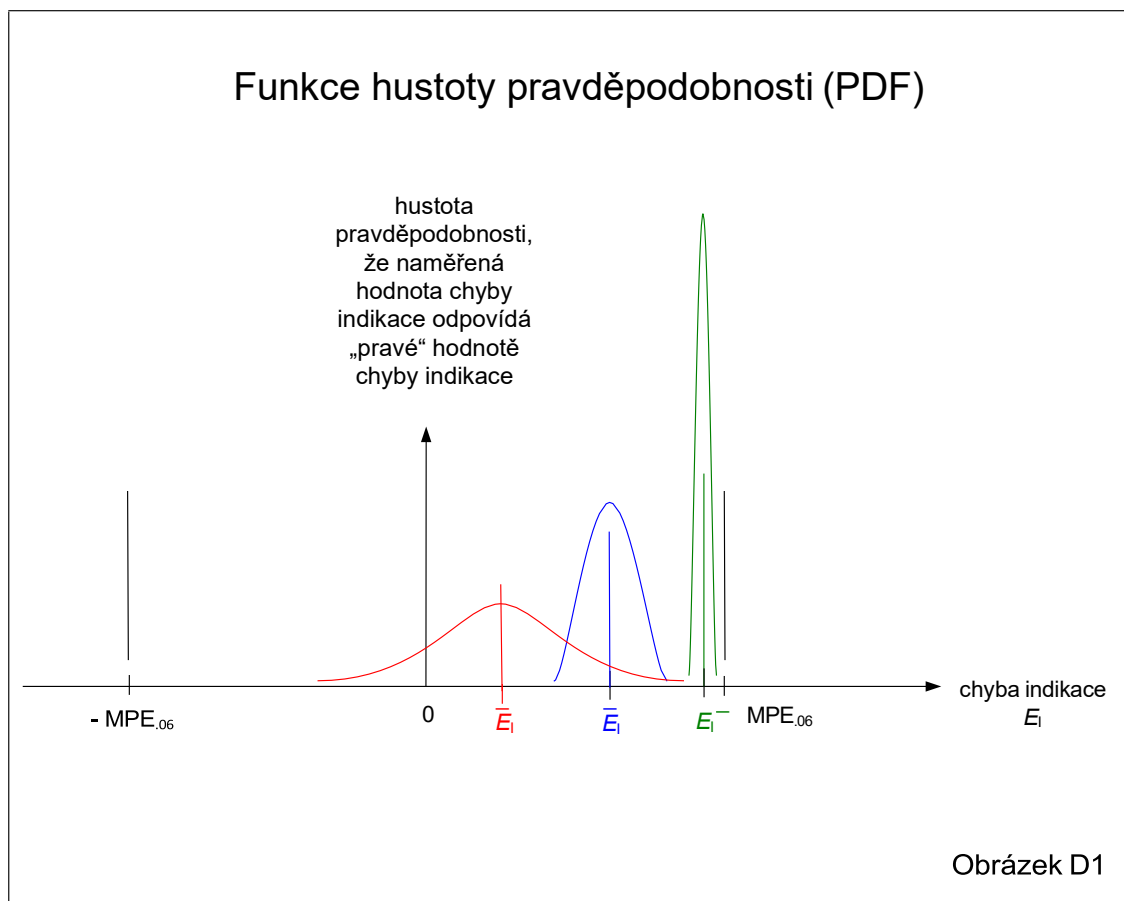
Měla by také proběhnout diskuse o tom, jaké budou pravděpodobné hodnoty u_{E1} a u_S během zkoušky, aby se mohlo rozhodnout, zda mají být stanoveny hodnoty MPU_{E1} a MPU_S , a pokud ano, jaké by tyto hodnoty měly být (nebo spíše jaké by měly být f_{E1} a f_S).

Pokračujme v příkladu z přílohy C1, rozebereme případ, kdy má být IUT zkoušeno, aby se stanovilo, zda tento typ měřidla může být zařazen do určité třídy přesnosti (řekněme třídy 0,06, jak je specifikováno v OIML R109), která má odpovídající MPE, označenou $MPE_{0,06} = 0,06 \% (1 \text{ MPa}) = 0,0006 \text{ MPa} = 600 \text{ Pa}$.

Musí být provedena analýza, zda je pro druh zkoušky uvedené v příloze C u tohoto typu měřidla nejvhodnější použít riziko spotřebitele, riziko dodavatele nebo sdílené riziko. Kritéria, která je třeba vzít v úvahu při analýze, jsou důsledky (bezpečnostní, ekonomické a jiné) pro uživatele měřidla a výrobce měřidla, pokud by došlo k nesprávnému rozhodnutí vyhověl/nevyhověl (buď pro specifikované nebo nejpravděpodobnější použití druhu měřidla) a jaké jsou pravděpodobné hodnoty u_{E1} během zkoušky.

Pokud se například druh IUT typicky používá k monitorování atmosférického tlaku pro předpověď počasí, může být rozhodnuto, že je vhodný přístup sdíleného rizika, pokud je dodržena stanovená hodnota f_{E1} (jako je 1/3). Na druhou stranu u druhu měřidla tlaku používaného k monitorování kritického tlaku v nádobě v jaderné elektrárně, nebo používaného jako leteckého výškoměru by se měl pravděpodobně použít přístup rizika spotřebitele s relativně konzervativním (menším) f_{E1} .

Před rozhodnutím o tom, který z přístupů k riziku použít, může být nezbytné (nebo alespoň užitečné) nejprve provést některá předběžná měření ke stanovení typických hodnot u_{E1} (které byly již v rovnici C.8 v příloze C stanoveny jako přibližně 105 Pa). Tato měření mohou být použita také k tomu, aby se pomocí nich určila vhodná specifikovaná hodnota f_{E1} , takže by byla velmi malá pravděpodobnost nesprávného rozhodnutí vyhověl – nevyhověl.



Obrázek D1 znázorňuje situaci pro diskutovaný příklad. Střední (modrá) křivka představuje Gaussovu PDF, kde nejistota (standardní odchylka křivky) je asi 1/6 MPE ($u_{E_i} / \text{MPE}_{06} = 105/600$). Křivka úplně vlevo (červená) představuje Gaussovu PDF, kde je nejistota přibližně 1/3 MPE. Zkoumáním těchto dvou křivek je pak možné, pouze vizuálně, rozhodnout o míře pohodlí, s jakým by měly být buď poměry (odpovídající f_{E_i} , jak je diskutováno v 5.3.4), nebo jiný poměr specifikovány jako požadavek v doporučení OIML. U konkrétního diskutovaného příkladu předpokládejme, že daný druh IUT bude použit v nekritické aplikaci, takže f_{E_i} 1/3 se považuje za přijatelný. Pro kritickou aplikaci může být vhodnější f_{E_i} 1/20, jak je schematicky znázorněno křivkou zcela vpravo (zelená) na obrázku D1. V tomto druhém případě, aby bylo dosaženo této menší hodnoty f_{E_i} , by bylo nutné buď snížit u_{E_i} , nebo zvolit větší MPE (třídu přesnosti), do které by tento druh měřidla patřil.

Pokud jde o požadavky na etalon, hodnoty u_{PS} lze získat z analýzy měřicího systému, včetně zahrnutí informací obsažených v kalibračním certifikátu etalonu, aby bylo možné rozhodnout, zda je etalon a měřicí systém vhodné použít pro konkrétní druh zkoušky. Tento aspekt zkoušky by měl být prodiskutován a specifikován v doporučení (např. by měla být specifikována vhodná hodnota f_S , jak je uvedeno v 5.3.5). Pro diskutovaný příklad tlaku je nejistota spojená s tlakem vnesená a naměřená „etalonem“ dána rovnicí C.7 jako $u_{PS} = 102 \text{ Pa}$, což je jen o málo méně než u_{E_i} , a tak prostřední křivku na obrázku D1 lze opět použít pro rozhodnutí (na vizuálním základě), zda je nejistota etalonu přijatelná. V tomto případě je třeba rozhodnout, zda nejistota způsobená etalonem negativně neovlivňuje rozhodnutí o zkoušce vyhověl – nevyhověl

z pohledu výrobce, protože většina nejistot je způsobena etalonem a nikoli IUT. Pro konkrétní diskutovaný příklad by byla přijatelná požadovaná hodnota $f_S = 1/3$ (protože naměřená hodnota je $1/6$).

Během zpracování doporučení OIML nebo jiné publikace OIML by se mělo zvážit, zda nemají být navrženy „přijatelné“ úrovně rizika pro různé druhy zkoušek. Pravidla rozhodování a související rizika, spolu s jejich důsledky, by měly být v doporučeních OIML zohledněny a diskutovány. To by však mělo být provedeno pouze v regulačním rámci. Rizika pro výrobce mohou mít vážné ekonomické důsledky, které jsou obvykle mimo oblast působnosti doporučení.

V závislosti na hodnotách MPU_{E_1} a MPU_S (nebo f_{E_1} a f_{P_S}) specifikovaných v předchozím kroku (pokud takový byl), by se měla vést diskuse o tom, zda má být použit princip „sdíleného rizika“, nebo zda existuje specifikované riziko (pravděpodobnost), které má být použito, a pokud ano, zda se jedná o riziko nesprávného přijetí nebo riziko nesprávného zamítnutí. Všimněte si, že pokud je v doporučení OIML (nebo v jiných publikacích OIML) použit přístup „sdíleného rizika“, neměl by být použit implicitně, ale spíše by mělo být v doporučení uvedeno explicitní prohlášení o jeho použití.

Pokračujme dále příkladem z přílohy C1, zvažme nyní případ, kdy má být IUT zkoušeno z hlediska požadavků na prvotní ověření. V tomto případě má být v doporučení specifikována MPE pro prvotní ověření (MPE_{iv}), a proto by doporučení mělo diskutovat o různých hlediscích, která vstupují do výběru vhodné MPE_{iv} , jako jsou potřeby regulátora a spotřebitele a dosažitelné úrovně provozu měřidla v prostředí mimo laboratoř.

Stejně jako tomu bylo v případě zkoušky hodnocení typu, je třeba analyzovat otázku, jaký druh rizika a rozhodovacích pravidel použít pro prvotní ověření, pouze nyní s (typicky) větší MPE (často bývá MPE_{iv} zvolena jako dvojnásobek MPE, není to však vždy nutné), a tak odpověď na otázku může být odlišná. Například pro zkoušku hodnocení typu by se mohlo rozhodnout, že je vhodné použít riziko spotřebitele spolu se stanovenou hodnotou f_{E_1} , zatímco pro zkoušky při prvotním (nebo následném) ověření je vhodné použít sdílené riziko (se kterým se snadněji zachází v prostředí mimo laboratoř), protože s větší MPE může nyní křivka PDF vypadat více jako křivka úplně vpravo na obrázku D1, spíše než jako křivka uprostřed. V takovém případě má smysl vyhnout se komplikaci s výpočtem a sdílet riziko, protože „nesprávné“ rozhodnutí lze učinit pouze přes relativní šířku (která je velmi malá) křivky nejvíce vpravo.

Pokud se použije riziko nesprávného přijetí nebo riziko nesprávného zamítnutí, je dále nutné specifikovat, zda má být u_{E_1} považováno za pevné pro každé měření, v takovém případě lze pro rozhodování o shodě použít ochranné pásmo, nebo zda má být u_{E_1} vypočítaná samostatně pro každé měření chyby indikace, v takovém případě lze použít z-statistiku nebo index způsobilosti měření. Měl by být uveden odkaz na tuto příručku OIML spolu s diskusí o tom, jak používat z-statistiku a/nebo index způsobilosti měření pro konkrétní doporučení.

Konstrukce křivek PDF a výpočet oblastí pod křivkou PDF je obecně netriviální záležitostí, a proto by měla být jakákoli rada a pomoc, která je v tomto ohledu poskytnuta v doporučení (doporučeních), během zpracování pečlivě zohledněna.

V situaci, kdy je rozhodnuto, že se použije přístup rizika nesprávného přijetí, musí být učiněno rozhodnutí o tom, jaká úroveň rizika nesprávného přijetí je přijatelná (p_{ca} , viz 5.3.1), a musí být provedena další analýza, zda lze nejistotu chyby indikace brát jako konstantní pro každé měření, nebo zda je nutné ji pokaždé přepočítat.

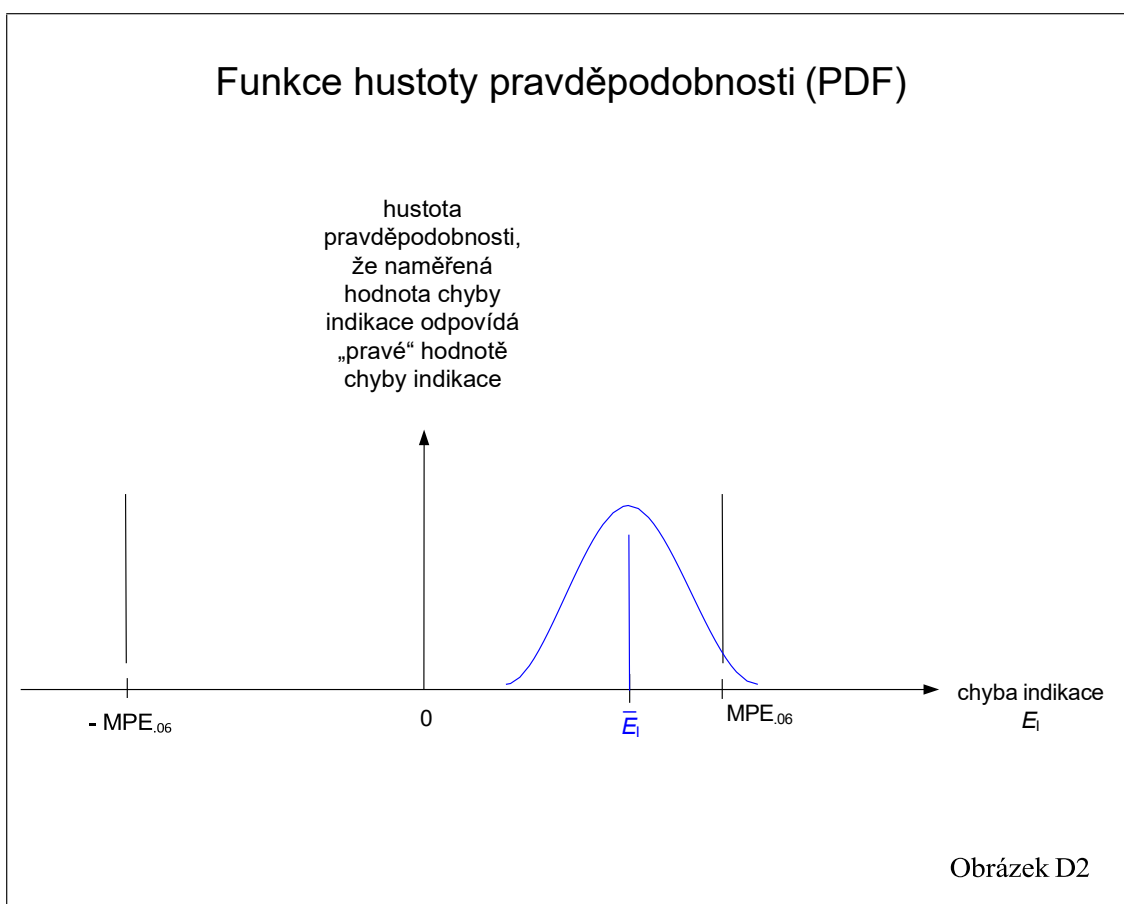
Pokud je potřeba u_{E_I} vypočítat pokaždé, pak je nutné vždy použít Z-tabulku (např. viz příloha B), nebo pokaždé vypočítat index způsobilosti měření (C_m) (např. viz příloha E) a použít pokaždé odpovídající graf C_m .

Pokud lze u_{E_I} považovat za konstantní pro daný typ měření, a není ji tedy nutné pokaždé vypočítat, pak lze ochranné pásmo zkonstruovat posunutím hranic MPE dovnitř o pevnou hodnotu (aby byla zachována pravděpodobnost nesprávného přijetí menší než stanovená hodnota; viz [5]). Na základě toho, zda naměřená hodnota E_I leží v nových (snížených) hranicích MPE, jsou pak učiněna rozhodnutí vyhověl – nevyhověl.

Vrátíme-li se ke zkoušce hodnocení typu pro příklad v příloze C, obrázek C1 (a výše), předpokládejme, že je rozhodnuto, že pro toto použití IUT bude použita 5% úroveň rizika nesprávného přijetí (riziko spotřebitele) (tj. $p_{ca} = 0,05$, a tedy pravděpodobnost shody je $p_c = 0,95 = 95\%$). Protože pro tento příklad bylo stanoveno, že $MPE_{0.06} = 600\text{ Pa}$ a u_{E_I} (při maximálním tlaku 1 MPa) = 105 Pa, lze pro určení nejvyšší hodnoty chyby indikace použít tabulku normovaného normálního rozdělení v příloze B. Začněte vyhledáním položky v této tabulce pro 0,9500 (nebo ve skutečnosti pro 0,4500, protože 0,5000 je v tomto případě pro tabulku v příloze B třeba odečíst od 0,9500), což je mezi položkami 0,4495 ($\alpha = 1,64$) a 0,4505 ($\alpha = 1,65$). Pomocí interpolace pak hodnota α , která bude použita, činí 1,645. Potom lze použít rovnici B.1 v mírně upravené podobě:

$$\bar{E}_I = MPE_{0.06} - (u_{E_I} \cdot \alpha) \quad \text{D.1}$$

k získání $\bar{E}_I = 425\text{ Pa}$, což je maximální hodnota, kterou může mít $\bar{E}_I$ tam, kde není větší než 5% riziko, že zkouška měla být považována za neúspěšnou, i když byla považována za úspěšnou. Tato situace je graficky znázorněna na obrázku D2.

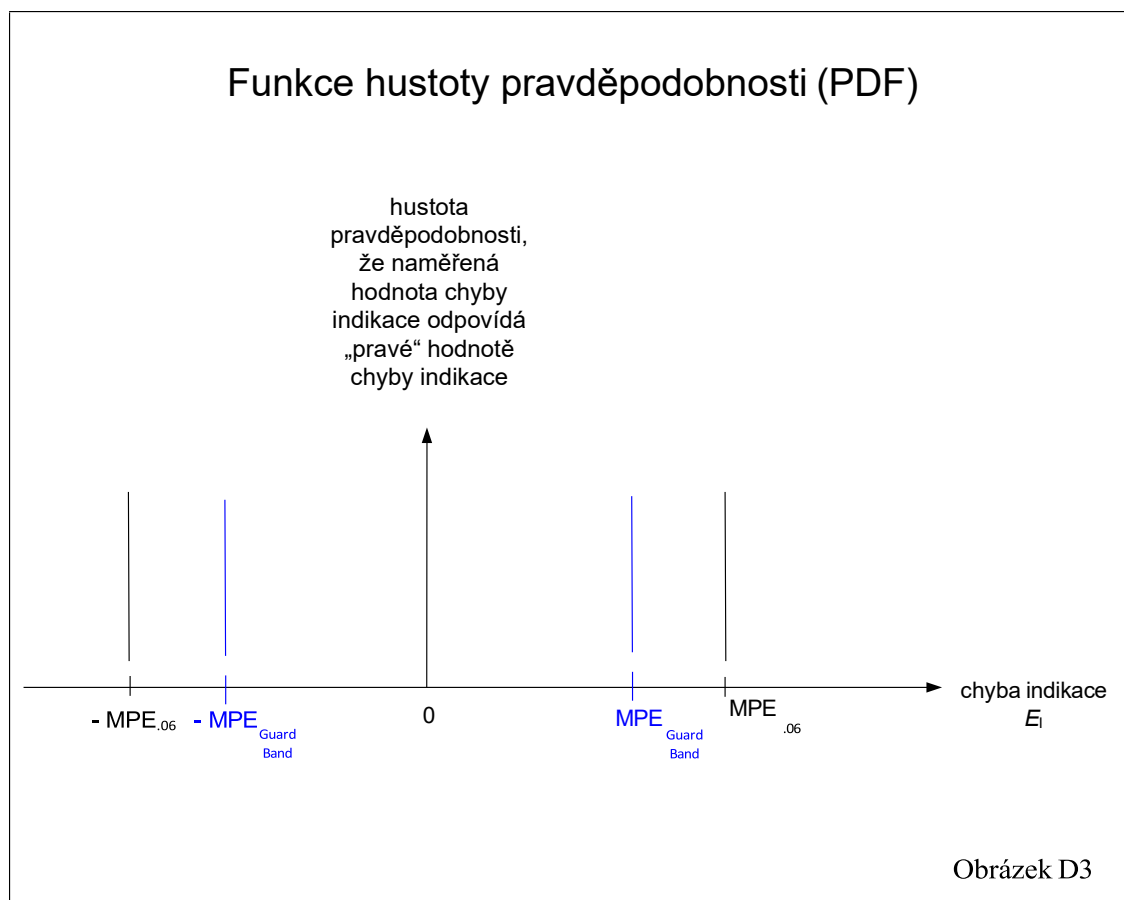


Spíše než použití Z-tabulky může být pro dosažení stejného závěru vhodnější použít graf indexu způsobilosti měření (viz příloha E). V tomto případě se index způsobilosti měření nejprve vypočítá pomocí rovnice E.1 jako $C_m = \text{MPE}/[2 \cdot u_{E_I}] = 600/[2 \cdot 105] = 2,86$. Při použití grafu 95 % v příloze E je odpovídající hodnota $\hat{E}$ asi 0,85. Úpravou rovnice E.2 získáme $E_I = \text{MPE} (2 \cdot \hat{E} - 1) = 600 (1,7 - 1) = 420 \text{ Pa}$, což se blíží 425 Pa získanému při použití přesnější tabulky Z.

Zatímco posouzení nejistoty měření chyby indikace pro jednotlivá měření pro určitý typ měřidla může být poněkud složité, je důležité si uvědomit, že jakmile se provedou veškerá odvození, jsou získány hodnoty a související nejistoty měření pro typické podmínky měření, měl by být proces získávání hodnoty u_{E_I} pro každé následující jednotlivé měření provedené během dané zkoušky hodnocení typu relativně jednoduchý, protože většina složek nejistoty měření se mezi jednotlivými měřeními nezmění. Tento aspekt zacházení s nejistotou měření by měl být zahrnut do diskuse v každém doporučení OIML tam, kde je nejistota měření relevantní.

Pokud se experimentálně stanoví, že existuje významná odchylka v u_{E_I} mezi jednotlivými měřeními, pak bude nutné použít buď Z-tabulku nebo index způsobilosti měření pro každé měření E_I . Nicméně, jak bylo uvedeno výše, je nepravděpodobné, že se u_{E_I} bude u každého měření výrazně lišit, a kromě toho je někdy vhodnější zvolit konzervativní přístup a považovat u_{E_I} stanovený v příloze C jako pravděpodobnou horní hranici všech u_{E_I} , a tak s tím zacházet jako s konstantou. V tomto případě lze vytvořit ochranné pásmo (kde se nová MPE posune dovnitř z 600 Pa na 425 Pa) a rozhodování se stane mnohem jednodušším, kdy jsou přijaty

zkoušky zahrnující naměřené hodnoty E_I menší než 425 Pa, a větší jsou zamítnuty. Tento přístup ochranného pásma je znázorněn na obrázku D3.



Příloha E

Index způsobilosti měření (C_m)

„Index způsobilosti měření“, definovaný a diskutovaný v [5], je užitečným nástrojem pro rychlé posouzení, zda je naměřená chyba indikace (E_I) s přidruženou kombinovanou standardní nejistotou (u_{E_I}) považována za vyhovující požadavku na nejvyšší dovolenou chybu (MPE) v rámci stanovené pravděpodobnosti shody (p_c).

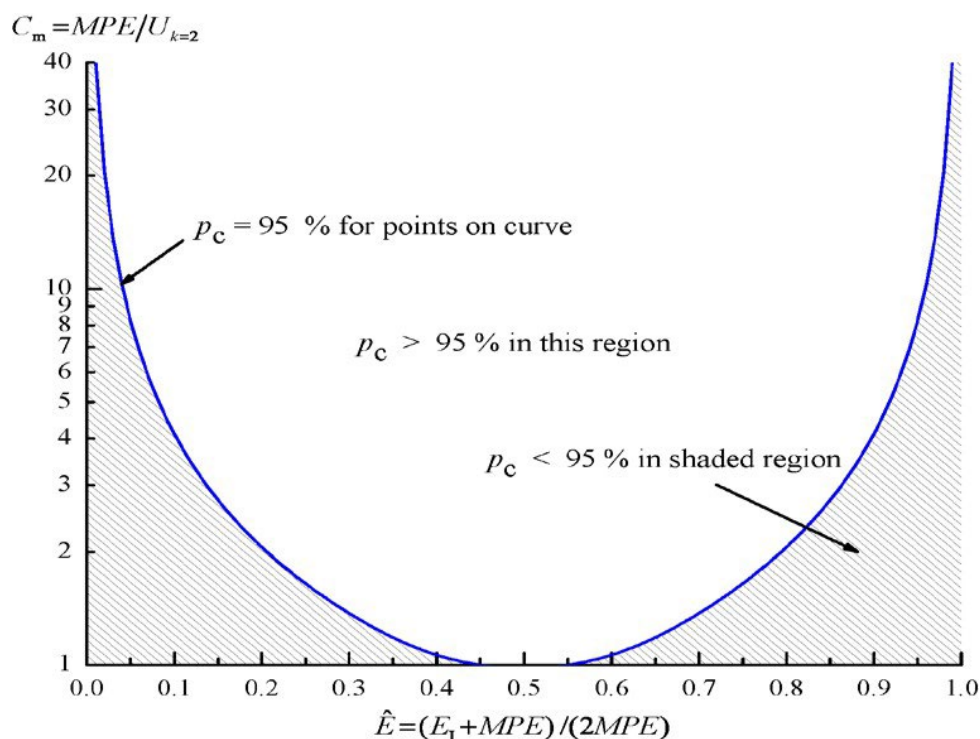
Index způsobilosti měření je bezrozměrný a v legální metrologii je definován jako:

$$C_m = MPE/[2 \cdot u_{E_I}] = MPE/U_{k=2} \quad (\text{E.1})$$

Aby bylo možné použít index schopnosti měření, je nejprve nutné vypočítat jiný bezrozměrný parametr $\hat{E}$, definovaný jako:

$$\hat{E} = [E_I + MPE]/[2 MPE] \quad (\text{E.2})$$

Všimněte si, že pro $-MPE < E_I < MPE$, pak $0 < \hat{E} < 1$. Pro daný p_c pak lze sestavit graf, jako je ten níže (zde zobrazen pro $p_c = 95\%$), v němž lze zjistit, zda průsečík $\hat{E}$ a C_m leží ve stínované oblasti (výsledek zkoušky nevyhovující) nebo v nestínované oblasti (výsledek zkoušky vyhovující). (Obrázek s laskavým svolením W. Tyler Estler).



Příloha F

Stanovení nejistoty měření pro použití při zkoušení shody měřidel a měřicích systémů

Poté, co měřidlo projde zkouškou za účelem prvotního nebo následného ověření, někdy se používá k provádění měření, kde se vyžaduje, aby naměřená hodnota byla doprovázena příslušnou nejistotou měření. V takové situaci, pokud bylo měřidlo nejen ověřeno, ale také kalibrováno, lze o jakékoli naměřené hodnotě získané s použitím měřidla říci pouze to, že se má za to, že „pravou“ hodnotu měřené veličiny nejlépe reprezentuje naměřená hodnota (která je dána indikací měřidla), ale že „pravá“ hodnota může ležet kdekoli (se stejnou pravděpodobností) v rozsahu daném naměřenou hodnotou plus nebo minus MPE. To je takzvané „rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti“ – viz GUM, 4.4.5.

Podle této analýzy je nejistota měření, která by měla být spojena s naměřenou (indikovanou) hodnotou,

$$u = MPE / \sqrt{3} \quad (F.1)$$

kde MPE je největší dovolená chyba, která byla použita při zkoušení měřidla.