



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**IMPLEMENTACE VYBRANÝCH ČÁSTÍ NORMY ČSN
EN ISO/IEC 17025:2018 V KALIBRAČNÍ
LABORATOŘI**

IMPLEMENTATION OF SELECTED PARTS OF THE ČSN EN ISO/IEC STANDARD 17025:2018 IN
THE CALIBRATION LABORATORY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Krejčí

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Šrámek, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Lukáš Krejčí
Studijní program:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Jan Šrámek, Ph.D.
Akademický rok:	2022/23

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Implementace vybraných částí normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 v kalibrační laboratoři

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem je vytvoření komplexního návrhu implementace vybraných částí normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 v kalibrační laboratoři pro potřeby zajištění jejího fungování v souladu s touto normou. Součástí práce je také stanovení nejistoty měření při kalibraci přístroje Talyrond 365, její podrobné vyhodnocení a uvedení závěrů do praxe kalibrační laboratoře.

Cíle diplomové práce:

Definice problematiky.

Popis současného stavu ve vybrané kalibrační laboratoři v porovnání s normou ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018.

Nastavení procesů dle požadavků normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2018.

Návrh výpočtu nejistoty měření při kalibraci přístroje Talyrond 365.

Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

SŁADEK, Jerzy A. Coordinate Metrology, Springer Tracts in Mechanical Engineering. Berlín: Springer-Verlag, Německo, 2016, ISBN 978-3-662-48463-10.

ČSN EN ISO 17025:2018. Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018, 48 s. Třídící znak 015253.

EA 4/02 M:2022. Vyhodnocení nejistoty měření při kalibraci (Evaluation of the Uncertainty of Measurement in calibration). Praha: Český institut pro akreditaci, 2022. 70 stran.

TNI 01 0115:2009. Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 90 s. Třídící znak 83031.

TAYLOR HOBSON. Talyrond with Metrology 4.0 - Software user guide. Velká Británie: AMETEK. Inc., 2021. 40 stran.

HORSKÝ, Jiří. Kalibrace mimo stálé prostory laboratoře. Metrologie, 2022, č. 3, s. 8-13. ISSN 1210- 3543.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

V diplomové práci dochází nejprve ke srovnání současného stavu vůči požadavkům normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018. Po srovnání následují návrhy na vytvoření chybějících dokumentů, které se výhledově stanou součástí řízené dokumentace vybrané kalibrační laboratoře a budou sloužit k získání akreditace. Konkrétně se jedná o dokumentaci v oblasti řízení procesů kalibrační laboratoře a postup stanovení nejistoty měření při kalibraci. Návrhy jsou vytvořeny takovým způsobem, aby odpovídaly požadavkům normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018. V závěru práce jsou uvedena doporučení pro kalibrační laboratoř, která by bylo vhodné zvážit před podáním žádosti o akreditaci.

ABSTRACT

In this diploma thesis comparison of the current state against the requirements of the standard ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 is made at first. The comparison is followed by proposals for the creation of the missing documents which will become part of the controlled documentation of the selected calibration laboratory in the future and will be used to obtain accreditation. These documents are focused specifically on process management of the calibration laboratory and the procedure for determining uncertainty of measurement in calibration. Proposals are created in a way to match the specifications of standard ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018. In the conclusion chapter of this thesis there are recommendations for calibration laboratory which should be considered before applying for accreditation.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kalibrační laboratoř, ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018, akreditace, nastavení procesů, nejistota měření při kalibraci, kalibrace kruhoměru

KEYWORDS

Calibration laboratory, ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018, accreditation, process setting, uncertainty of measurement in calibration, calibration of the roundness measuring machine

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KREJČÍ, Lukáš. *Implementace vybraných částí normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 v kalibrační laboratoři* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/149821>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Šrámek.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce panu Ing. Janu Šrámkovi, Ph.D, za cenné rady, přínosné podněty a vstřícný přístup během vypracování práce. Dále bych velmi rád poděkoval všem zaměstnancům společnosti IMECO TH s.r.o. za možnost podílet se na vytváření dokumentace pro akreditaci kalibrační laboratoře. Dále také za poskytnutí četných podkladů a rad, za ukázkou kalibrace a za vysoce nadstandardní přístup po celou dobu spolupráce. V neposlední řadě patří velký dík mé rodině, která mě podporovala během celého studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Šrámka, Ph.D., a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. 5. 2023

.....

Lukáš Krejčí

OBSAH

ÚVOD	15
1 RÁMCOVÉ ZAŘAZENÍ PROBLEMATIKY	17
1.1 Systémový rozbor řešené problematiky	17
1.2 Kalibrační laboratoř	20
1.2.1 Popis činností	20
1.2.2 Provozní doba a personál	20
1.3 Akreditační systém České republiky s důrazem na kalibrační laboratoře	21
1.3.1 Proces akreditace	21
1.4 Normativní rámec akreditace kalibračních laboratoří	24
2 SOUČASNÝ STAV V KALIBRAČNÍ LABORATOŘI	27
2.1 Obecné požadavky (kap. 4)	27
2.1.1 Neutrannost (kap. 4.1)	27
2.1.2 Důvěrnost (kap. 4.2)	27
2.2 Požadavky na strukturu (kap. 5)	28
2.3 Požadavky na zdroje (kap. 6)	30
2.3.1 Obecně (kap. 6.1)	30
2.3.2 Pracovníci (kap. 6.2)	30
2.3.3 Prostory a podmínky prostředí (kap. 6.3)	32
2.3.4 Vybavení (kap. 6.4)	32
2.3.5 Metrologická návaznost (kap. 6.5)	33
2.3.6 Externě poskytované produkty a služby (kap. 6.6)	34
2.4 Požadavky na proces (kap. 7)	35
2.5 Požadavky na systém managementu (kap. 8)	35
2.5.1 Možnosti (kap. 8.1)	35
2.5.2 Dokumentace systému managementu (kap. 8.2)	36
2.5.3 Řízení dokumentů systému managementu (kap. 8.3)	37
2.5.4 Řízení záznamů (kap. 8.4)	38
2.5.5 Opatření k zohlednění rizik a příležitostí (kap. 8.5)	38
2.5.6 Zlepšování (kap. 8.6)	39
2.5.7 Nápravná opatření (kap. 8.7)	39
2.5.8 Interní audity (kap. 8.8)	41
2.5.9 Přezkoumání systému managementu (kap. 8.9)	42
3 NASTAVENÍ PROCESŮ DLE POŽADAVKŮ ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018	43
3.1 Procesní přístup a procesní řízení	43
3.1.1 Procesní mapa	43
3.1.2 Popis procesů	44
3.1.3 Procesní řízení	44
3.2 Požadavky na proces (kap. 7)	45
3.2.1 Přezkoumání poptávek, nabídek a smluv (kap. 7.1)	45
3.2.2 Výběr, verifikace a validace metod (kap. 7.2)	48
3.2.3 Vzorkování (kap. 7.3)	49
3.2.4 Zacházení se zkušebními a kalibračními položkami (kap. 7.4)	49
3.2.5 Technické záznamy (kap. 7.5)	50
3.2.6 Vyhodnocení nejistoty měření (kap. 7.6)	50
3.2.7 Zajišťování platnosti výsledků (kap. 7.7)	51

3.2.8	Uvádění výsledků (kap. 7.8)	51
3.2.9	Stížnosti (kap. 7.9)	53
3.2.10	Neshodná práce (kap. 7.10)	55
3.2.11	Řízení dat a management informací (kap. 7.11)	55
4	NÁVRH STANOVENÍ NEJISTOTY MĚŘENÍ PŘI KALIBRACI KRUHOMĚRU TALYROND 365	57
4.1	Způsoby vyhodnocení nejistoty měření	57
4.1.1	Vyhodnocení nejistoty měření způsobem A	57
4.1.2	Vyhodnocení nejistoty měření způsobem B	58
4.2	Výpočet standardní nejistoty výstupní veličiny	59
4.3	Rozšířená nejistota měření	60
4.4	Obecný postup dokumentace a výpočtu nejistoty měření	60
4.5	Systémový rozbor zdrojů nejistot měření při kalibraci ve společnosti IMECO TH	61
4.6	Dokumentovaný postup při kalibraci kruhoměru Talyrond 365	63
4.6.1	Použité související dokumenty	63
4.6.2	Prostředky potřebné pro provedení kalibrace	63
4.6.3	Měření a cílová nejistota měření	63
4.6.4	Princip, metody, postup a podmínky měření	64
4.6.5	Složky nejistoty při kalibraci snímacího systému	67
4.6.6	Složky nejistoty při stanovení radiální chyby vřetene	72
4.6.7	Složky nejistoty při stanovení axiální chyby vřetene	75
4.6.8	Složky nejistoty při stanovení vertikální přímosti	79
4.6.9	Složky nejistoty při stanovení rovnoběžnosti vertikálního přímovodu s vřetenem	83
4.6.10	Složky nejistoty při stanovení horizontální přímosti	85
4.6.11	Složky nejistoty při stanovení kolmosti horizontálního přímovodu k vřetení	88
5	DISKUSE A DOPORUČENÍ	91
5.1	Diskuse	91
5.1.1	Použití rozhodovacích pravidel	92
5.1.2	Ekonomický aspekt statutu akreditované kalibrační laboratoře	94
5.2	Doporučení	95
	ZÁVĚR	97
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	99
	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	101
	Seznam použitých zkratk a symbolů	101
	Seznam tabulek	104
	Seznam obrázků	104
	SEZNAM PŘÍLOH	107

ÚVOD

Zadání práce vzešlo ze spolupráce autora se společností IMECO TH s.r.o. Společnost je autorizovaným obchodním a servisním zástupcem několika výrobců (jmenujme např. Taylor Hobson, T&S, Altimet) přesné měřicí techniky v oboru měření profilu povrchu, úchylek tvaru a polohy a měření délek.

Součástí poskytovaných služeb je i kalibrace měřicích přístrojů u zákazníků. Někteří zákazníci vyžadují, aby firma provádějící kalibraci byla akreditována dle normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 – Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří. Společnost IMECO TH dříve úzce spolupracovala s laboratoří MZDS (Mobilní Zkušebna Délkoměrů a výrobních Strojů), která měla certifikát a patřila mezi akreditované subjekty, avšak s aktualizovaným vydáním výše uvedené normy v roce 2018 o tento statut přišla. Mnohé postupy dle původní verze normy ČSN EN ISO/IEC 17025 z roku 2005 byly používány i ve společnosti IMECO TH. A tak po aktualizaci normy došlo ke ztrátě určité části zákazníků. Cílem této práce je tedy navrhnout část dokumentace, která bude sloužit jako podklad pro získání statutu akreditované kalibrační laboratoře.

Akreditace obecně znamená udělení oprávnění k vykonávání specifické činnosti. Oprávnění uděluje akreditační autorita – v České republice Český institut pro akreditaci, o.p.s. (ČIA). Aby byl subjekt akreditovaný v libovolné oblasti, musí splňovat danou úroveň poskytovaných služeb, která je velmi často definovaná příslušnou normou. Akreditace tedy zvyšuje důvěru zákazníků v kvalitu poskytovaných služeb.

V této práci bude postupně proveden systémový rozbor řešené problematiky, stručně bude popsána spolupracující společnost, poté bude rozebrán akreditační systém v České republice, dále dojde k zařazení normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 do hierarchie norem včetně vazeb na jiné normy. Následovat bude popis současného stavu plnění požadavků normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 v kalibrační laboratoři společnosti IMECO TH.

7. kapitola normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 se zabývá požadavky na proces. Procesní přístup je nezbytný pro správné a efektivní fungování jakékoliv společnosti, tedy i kalibrační laboratoře. Proto bude této problematice v diplomové práci věnována zvláštní pozornost.

Jedním z požadavků na proces je i vyhodnocení nejistoty měření. Pro konkrétní ukázkou vyhodnocení nejistoty měření při kalibraci byl vybrán kruhoměr Talyrond 365.

V závěru práce budou shrnuty zjištěné skutečnosti a budou navrženy další kroky, aby se kalibrační laboratoř společnosti IMECO TH mohla stát akreditovanou kalibrační laboratoří.

1 RÁMCOVÉ ZAŘAZENÍ PROBLEMATIKY

V této kapitole bude nejprve proveden systémový rozbor, který bude sloužit jako výchozí bod pro další postup v práci. Dále bude stručně představena kalibrační laboratoř. Následně dojde k vymezení akreditačního systému a procesu akreditace. V neposlední řadě dojde k zařazení normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 do hierarchie norem.

Výše uvedené body definují vnitřní i vnější kontext kalibrační laboratoře, a proto je nutné se jimi detailně zabývat, aby bylo možné dosáhnout na akreditaci.

1.1 Systémový rozbor řešené problematiky

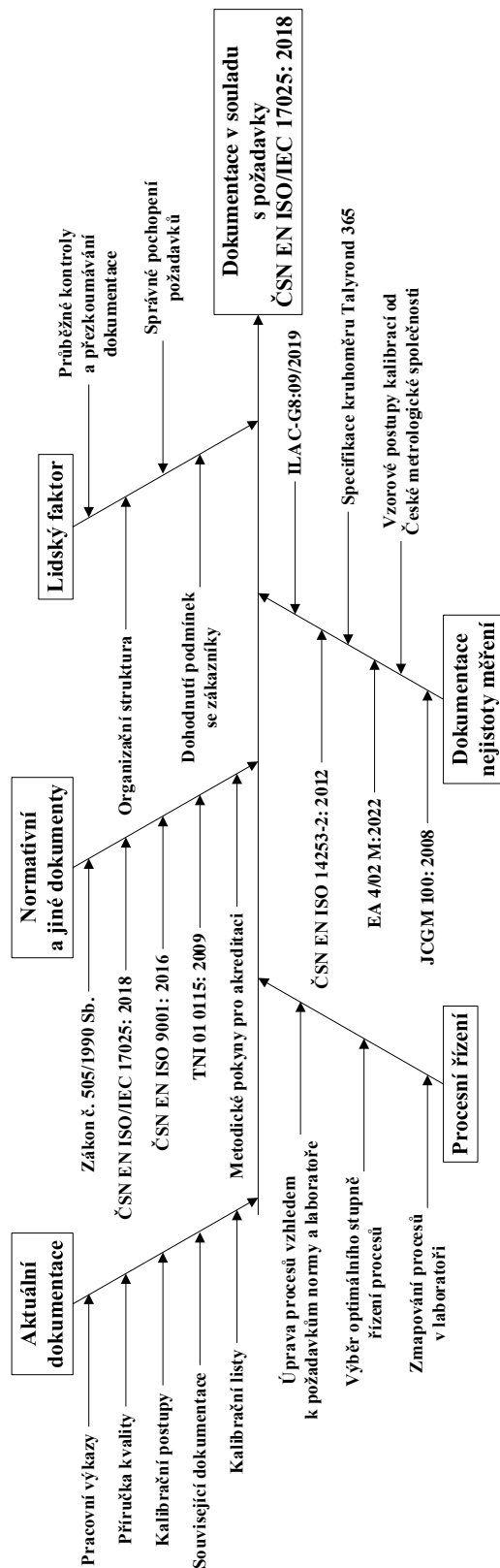
Systémovým přístupem rozumíme návod, podle kterého by se mělo postupovat, aby došlo ke splnění určitého vytyčeného cíle. Podstatou je rozdělení celku na dílčí části, které jsou lépe uchopitelné a pochopitelné. Avšak je nutné pamatovat na provázanost jednotlivých částí. Přílišné zaměření na konkrétní oblast by totiž mohlo vést ke ztrátě souvislostí, a tím pádem k neúplnému či neoptimálnímu řešení.

Pokud má být uplatněn systémový přístup k řešení diplomové práce, musí být zaměřen na splnění cílů práce, které jsou následující:

- Definice problematiky
- Popis současného stavu ve vybrané kalibrační laboratoři v porovnání s normou ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018
- Nastavení procesů dle požadavků normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018
- Návrh výpočtu nejistoty měření při kalibraci přístroje Talyrond 365
- Závěr a doporučení pro praxi

Hlavním problémem řešené diplomové práce je vytvoření určitých dokumentů, které musejí být v souladu s požadavky normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 a budou následně implementovány v kalibrační laboratoři. Splnění požadavků je nutné, aby mohla kalibrační laboratoř IMECO TH zažádat o udělení akreditace dle předmětné normy.

Následující obr. 1 demonstruje formou Ishikawova diagramu významné body, kterými se bude nutné v této práci zabývat.



Obr. 1 Ishikawův diagram zaměřený na problematiku diplomové práce – *vlastní dílo*

Obr. 1 kopíruje cíle práce, a zároveň definuje vnitřní a vnější kontext problematiky vytváření dokumentace v souladu s normou ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018. Vzhledem k povaze cílů nelze ostře vymezit teoretickou a praktickou část práce, protože již ve fázi popisu

současného stavu v kalibrační laboratoři IMECO TH budou představena doporučení, aby stav směřoval ke splnění požadavků normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018.

V práci tedy bude docházet k rešerši současné dokumentace laboratoře a požadavků normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018. Pokud bude nalezen rozdíl, bude buď navrženo odpovídající řešení či popsán jiný způsob (některé dokumenty jsou vytvářeny jinými osobami než autorem práce). Norma nedává příliš možností k variantním řešením, a tedy navržený postup bude jen jeden bez výběru možností. Často jsou přímo v normě ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 uvedeny odkazy na příslušné dokumenty, které pomohou daný požadavek splnit nebo je formou poznámky uveden možný postup řešení. To samé platí i pro Metodické pokyny pro akreditaci.

V oblastech, kde bude možné zvolit několik postupů (např. procesní řízení), bude vybrána varianta, která nejlépe odpovídá požadavkům kalibrační laboratoře IMECO TH s ohledem na její zdroje. Konkrétní podoby vývojových diagramů procesů budou vznikat po konzultacích s pracovníky laboratoře.

V oblasti stanovení nejistoty při kalibraci kruhoměru Talyrond 365 byla ponechána autorovi práce volná ruka. Postup stanovení nejistoty samozřejmě musí vycházet z mezinárodně uznávaných dokumentů, avšak určení konkrétních složek nejistoty měření již není nijak omezeno. V příslušné kapitole práce tedy bude uplatněn systémový přístup ke stanovení složek nejistoty, a také k formě dokumentace výpočtu a grafickému znázornění výsledků. Nejprve dojde k rešerši dokumentů týkajících se stanovování nejistoty při kalibraci kruhoměrů, a poté budou na základě konzultací se zaměstnanci laboratoře vybrány podstatné příspěvky k nejistotě měření.

Při vytváření vzorů dokumentů v této práci, ale i v kalibrační laboratoři IMECO TH, je nutné tuto dokumentaci průběžně kontrolovat a přezkoumávat. V některých případech (např. délka platnosti kalibrace, výběr měřicí metody, použití rozhodovacího pravidla) je potřebné dohodnout se zákazníky konkrétní podobu dokumentu, a tedy dokument již musí být na tyto možnosti připravený.

Celý proces vytváření dokumentace je nutné řídit. Z organizační struktury a souvisejících dokumentů vyplyne, kdo má jaké pravomoci a povinnosti. Klíčové pro získání akreditace je správné pochopení požadavků všech zainteresovaných stran, a přesně proto je proces řízený a přezkoumávaný.

Z výše uvedených odstavců vyplývá, že práce bude vypracována v souladu s cyklem neustálého zlepšování: plánuj – dělej – kontroluj – jednej:

- Plánování je dáno cíli práce.
- Činnost spočívá v zjištění rozdílů mezi požadavky předmětné normy a současným stavem v kalibrační laboratoři a smazáním těchto rozdílů.
- Kontrola bude prováděna formou konzultací a vlastního přezkoumání navržených změn. Kontrola v kalibrační laboratoři IMECO TH bude realizována formou průběžných interních auditů, které však nebude mít na starost autor práce.
- Jednání bude spočívat v úpravě již navržených řešení takovým způsobem, aby optimálně plnily požadavky nejen cílů práce, ale i spolupracující kalibrační laboratoře.

1.2 Kalibrační laboratoř

Kalibrační laboratoř je součástí právního subjektu, což je požadavek normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 [1]. Pracují v ní však stejní zaměstnanci jako v mateřské společnosti IMECO TH, a rovněž sídlí ve stejné budově. Zákazníci laboratoře jsou z Česka, Slovenska, Polska, Maďarska a Slovinska.

Kalibrací rozumíme dle Mezinárodního metrologického slovníku „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] Jinými slovy dojde k porovnání konkrétního měřidla určité veličiny (např. posuvné měřidlo – délka) vůči měřidlu téže veličiny, ale vyšší metrologické přesnosti – etalonu (např. koncové měřky). Výsledkem kalibrace je údaj, funkce, diagram, křivka, nebo tabulka [2]. Nejčastější formou vyjádření je údaj – číselná hodnota. Tento údaj poté vstupuje do výpočtu nejistoty měření při použití kalibrovaného měřidla. Při výpočtu nejistoty měření při kalibraci přístrojů prováděných kalibrační laboratoří IMECO TH je údaj z kalibrace etalonu často významnou (v některých případech i zcela dominantní) složkou z celkové nejistoty měření při kalibraci.

1.2.1 Popis činností

Jedná se o mobilní laboratoř. Veškeré kalibrace probíhají u zákazníků. Přímo ve firmě jsou k dispozici „pouze“ kalibrační etalony a teploměry. Když zákazník poptá kalibraci, dojde k domluvě termínu, technik si připraví protokol dle objednávky, vezme s sebou potřebné etalony a dopraví se k zákazníkovi. U zákazníka proběhne obvykle servis, a následně kalibrace zařízení. Hodnoty měření při kalibraci jsou zaznamenány do výkazu, a poté technik provede druhý krok kalibrace – zadá korekce do softwaru přístroje. Po návratu technika dojde v předem připraveném programu ke stanovení nejistoty měření, a pokud jsou hodnoty v rámci specifikace, dojde k vystavení kalibračního listu (KL) k příslušnému přístroji. KL je poté odeslán zákazníkovi. Jednotlivé etapy procesu kalibrace budou podrobně popsány v následujících kapitolách.

Společnost IMECO TH má i svou vlastní měřicí laboratoř vybavenou přístroji pro měření délky, úchylek tvaru a polohy a měření profilu povrchu. Zde jsou řešeny požadavky zákazníků, kteří potřebují využít přesnou měřicí techniku – např. pro kontrolu parametrů textury povrchu či kontrolu kruhovitosti na součástkách vůči výkresové dokumentaci. Dále je místnost využívána jako showroom pro předvádění schopností měřicích přístrojů potenciálním zákazníkům. Avšak tato laboratoř není předmětem akreditace, protože, jak již bylo zmíněno, všechny kalibrace probíhají přímo u zákazníků.

Nejčastějšími požadavky zákazníků na kalibraci jsou kalibrace přístrojů na měření profilu povrchu (drsnoměry, konturografy) a na měření úchylek tvaru a polohy (opět konturografy a kruhoměry). Tyto 2 oblasti budou rovněž předmětem akreditace. Přístroje pro měření délek jsou v současné době v laboratoři využívány jen okrajově, a proto nebudou předmětem akreditace.

1.2.2 Provozní doba a personál

Laboratoř funguje každý pracovní den od 8 do 16 hodin. Avšak vzhledem k faktu, že kalibrace probíhá u zákazníka, je možné tuto dobu upravit dle konkrétních požadavků.

V čele laboratoře stojí vedoucí, který má na starost kontrolu naměřených hodnot, výpočet nejistoty měření a vystavení kalibračního listu. Zástupce vedoucího laboratoře přezkoumává a schvaluje kalibrační list, přijímá zakázky, a rovněž sám provádí kalibrace. Technici pak provádějí kalibrace. Za vytváření, průběžnou kontrolu a zlepšování systému managementu odpovídá manažer kvality.

1.3 Akreditační systém České republiky s důrazem na kalibrační laboratoře

Jak již bylo zmíněno, v České republice je akreditační autoritou ČIA. Institut je notifikovaný a je uznán Evropskou komisí jako jediný akreditační orgán v ČR. ČIA je členem mezinárodních organizací EA (*European co-operation for Accreditation* – Evropská organizace pro spolupráci v oblasti akreditace), ILAC (*International Laboratory Accreditation Cooperation* – Mezinárodní spolupráce v oblasti akreditace laboratoří) a IAF (*International Accreditation Forum* – Mezinárodní akreditační fórum). Členství v organizaci EA, a současně přejímání jejích dokumentů, umožňuje vzájemné uznávání výsledků akreditací ve všech státech, jejichž akreditační orgány jsou rovněž členy EA. V neposlední řadě je členství také zárukou profesionální úrovně práce a přístupu ze strany ČIA [3].

Vzhledem k tématu práce budou dále uvedeny pouze laboratoře, u kterých provádí ČIA na žádost akreditaci:

- Zkušební laboratoře (fyzikálně-mechanické, chemické a mikrobiologické)
- Zdravotnické laboratoře
- Kalibrační laboratoře [3].

Není neobvyklé, že zkušební laboratoř je často i kalibrační laboratoří. Pokud se chce nechat akreditovat v obou oblastech, musí však požádat o akreditaci v každé oblasti zvlášť.

Při procesu akreditace kalibračních laboratoří se kontroluje plnění požadavků normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 a dokumentů MPA (Metodický pokyn pro akreditaci). MPA vydává ČIA a často zpracovávají dokumenty mezinárodních organizací [3].

1.3.1 Proces akreditace

Proces akreditace zpracovává MPA 00-01-xx (poslední 2 číslice jsou vždy rok, kdy byl MPA vydán, čili nyní 23, ale každý rok se aktualizuje) – Základní pravidla akreditačního procesu. Schematicky můžeme vidět jednotlivé kroky procesu na následujícím obr. 2.

Žádost o udělení akreditace podává osoba oprávněná jednat za subjekt v procesu akreditace. Součástí žádosti musí být označení subjektu podávajícího žádost, rozsah činností, pro které má být akreditace udělena, a relevantní informace o subjektu včetně příslušných dokumentů a záznamů. ČIA doporučuje použít pro podání žádosti formulář dostupný na svých webových stránkách [4].

Po prvotním zběžném přezkoumání následuje podrobné přezkoumání žádosti. Pokud je žádost neúplná, je subjekt akreditace vyzván k doplnění žádosti ve stanoveném termínu. Jestliže tak neučiní, je řízení zastaveno. V opačném případě zahájí ČIA přípravu na posuzování [4].

Součástí přípravy na posuzování může být i předběžná návštěva zástupců ČIA u žadatele o akreditaci, která by měla sloužit k ověření připravenosti na akreditaci. Subjekt akreditace předá ČIA veškeré relevantní dokumenty a jsou dohodnuty místo, čas a způsob úvodního zasedání skupiny posuzovatelů. Posuzuje se stav dokumentace, funkčnost managementu, způsobilost subjektu pro požadovaný rozsah akreditace. Posuzování odborné

způsobilosti subjektu probíhá kromě přezkoumání dokumentace také přímým sledováním vybraných činností při witness auditech. Počet witness auditů je dán rozsahem požadované akreditace [4].

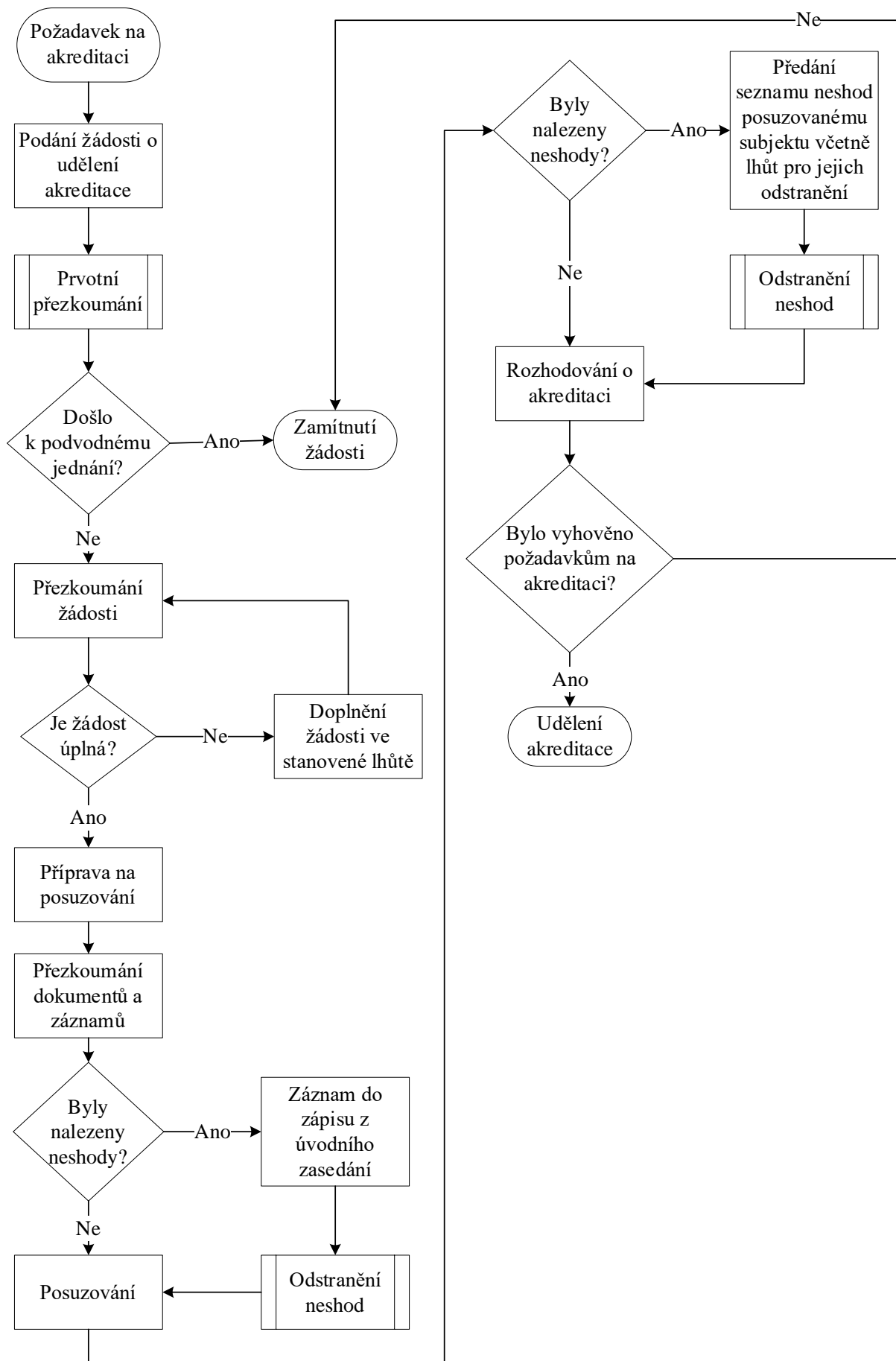
Přezkum dokumentace probíhá před úvodním zasedáním skupiny posuzovatelů a akreditovaného subjektu. Na úvodním zasedání jsou poté sděleny subjektu výsledky přezkumu, je dojednan program posuzování včetně witness auditů. Pokud je během přezkumu zjištěna v dokumentaci neshoda, která brání zahájení posuzování, je o tom vyhotoven záznam, který je uveden v zápisu z úvodního zasedání [4].

Samotné posuzování probíhá v souladu s časovým harmonogramem dohodnutým na úvodním zasedání. Na konci každého dne posuzování sdělí skupina posuzovatelů dílčí výsledky posuzování subjektu, případně mu předá seznam neshod a možnosti dalšího postupu včetně lhůt pro odstranění neshod. Po skončení posuzování následuje schůzka skupiny posuzovatelů se zástupci subjektu. Zde jsou předána a projednána veškerá zjištění z posuzování [4].

Součástí posuzování, při kterém se dokládá způsobilost laboratoří, je také účast laboratoří v programech způsobilosti či v jiných mezilaboratorních porovnáních. Subjekt akreditace musí periodicky předkládat zprávu o účasti v programech zkoušení způsobilosti a dokládat jejich úspěšnost [4].

Po posuzování lze přistoupit k rozhodování o udělení akreditace. Pokud došlo ke splnění všech požadavků, je subjektu udělena akreditace v požadovaném rozsahu činností. V případě prvotního posouzení se akreditace uděluje s platností na 3 roky [4].

Pokud nedojde ke změně harmonizované normy, podle které je subjekt akreditován, a zažádá o prodloužení akreditace, opakuje se proces na obr. 2. Avšak již s přihlédnutím k faktu, že subjekt byl dříve akreditován. Platnost opakované akreditace je 5 let [4].



Obr. 2 Proces akreditace – vlastní dílo

1.4 Normativní rámec akreditace kalibračních laboratoří

Normy řady 17000 se zabývají posuzováním shody. Kromě normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018, která bude detailně rozebrána v následující kapitole, jmenujme ještě pro příklad ČSN EN ISO/IEC 17011: 2018 zabývající se požadavky na akreditační orgány – certifikát o splnění požadavků této normy má pochopitelně i ČIA.

Revize normy ČSN EN ISO/IEC 17025, která proběhla v roce 2018 měla 2 zásadní prvky:

- Požadavky na technickou stránku zajištění kalibrací zůstaly téměř nezměněny. Došlo pouze k úpravám vzhledem k novým používaným technologiím (masivní rozvoj internetu a počítačů). Požadavky jsou též rozprostřeny do více kapitol.
- Změny nastaly v oblasti vytváření části povinné dokumentace, závazku k nestrannosti a důvěrnosti či v oblasti managementu (uvažování rizik). Revidovaná verze normy má logičtější členění a lépe umožňuje použití procesního přístupu [5].

Změny v oblasti řízení nejsou žádným překvapením. Již verze normy ČSN EN ISO/IEC 17025 z roku 2005 čerpala mnoho poznatků z normy ČSN EN ISO 9001: 2002 zabývající se požadavky na systém managementu kvality. Po zavedení současně platné verze – ČSN EN ISO 9001: 2016 tedy bylo pouze otázkou času, než došlo k revizi normy ČSN EN ISO/IEC 17025.

Na kalibraci je nutné nahlížet jako na proces složený z dílčích kroků. Tento proces má vstup (požadavek zákazníka na provedení kalibrace) a výstup (vydání kalibračního listu). Do procesu vstupují mnohé dokumenty – požadavky zákazníka, interní předpisy firmy,... a rovněž mnoho dokumentů při procesu vzniká – nabídka provedení kalibrace, podmínky při měření, naměřené hodnoty,... Všechny důležité dokumenty týkající se managementu společnosti a obchodních činností musejí být řízené.

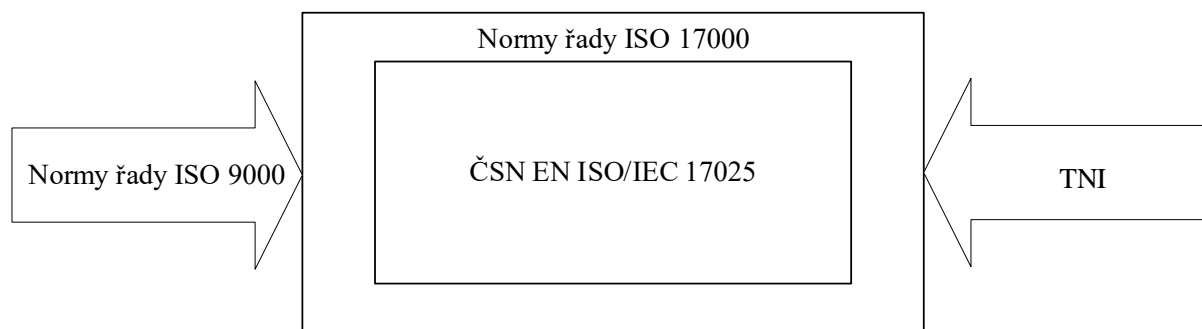
Z předchozího odstavce je patrné, že norma ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 používá mnoho zásad z normy ČSN EN ISO 9001: 2016. Dokonce 8. kapitola ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 – „Požadavky na systém managementu“ – uvádí, že pokud má daná laboratoř certifikát ČSN EN ISO 9001: 2016, pak automaticky splňuje požadavky této 8. kapitoly [1].

V neposlední řadě je také z normy ČSN EN ISO 9001: 2016 přejat požadavek na uvažování rizik a příležitostí v rámci fungování kalibrační laboratoře.

Dalším zástupcem normativního rámce (viz obr. 3) je TNI 01 0115: 2009, neboli Mezinárodní metrologický slovník. Zkratka TNI znamená Technické normalizační dokumenty informativního charakteru. Pokud mají mít akreditované laboratoře stejnou úroveň, je nutné, aby používaly jednotnou, navzájem nezaměnitelnou terminologii.

Z oblasti TNI jmenujme ještě např. TNI 01 4109-3: 2011, který zpracovává problematiku vyjádření nejistoty měření.

Závěrem budiž uvedeno, že mnoho laboratoří využívá normy jako zdroj informací pro své postupy, avšak nejsou podle těchto norem akreditované [5]. Důvodem může být nedostatek zdrojů pro zavedení všech požadavků předemných norem či např. jiné postupy v určitých oblastech. Nebo se může jednat o univerzitní laboratoře, laboratoře výzkumných center apod. – obecně místa, kde je žádoucí, aby výsledky měření byly vysoce spolehlivé, avšak samotné zavedení normy postrádá smysl, protože tyto laboratoře nevystupují v obchodním styku. Normy nejsou závazné a v konečném důsledku záleží jejich zavedení či nezavedení pouze na vyhodnocení managementu, který posoudí očekávané přínosy zavedení, a rovněž náklady spojené se zavedením a následným dodržováním. Pokud se však jakákoliv laboratoř rozhodne zavést postupy dle ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018, pak se jimi po udělení akreditace již musí závazně řídit, protože to zákazník očekává a požaduje.



Obr. 3 Normativní rámec pro kalibrační laboratoře – vlastní dílo

2 SOUČASNÝ STAV V KALIBRAČNÍ LABORATOŘI

Cílem druhé kapitoly je srovnat současný stav v kalibrační laboratoři IMECO TH vůči požadavkům normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018. Aby bylo srovnání co nejpřehlednější, budou jednotlivé části této a následující třetí kapitoly číslovány ve stejném sledu jako v normě ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018, přičemž jako součást názvů podkapitol bude uveden v závorce i odkaz na dotyčnou podkapitolu normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018. Z důvodů ochrany know-how a zachování důvěrnosti budou některé informace obecnějšího charakteru.

Norma ISO 17025 vznikla za účelem podpořit důvěru v pracovní činnosti laboratoří. Pokud laboratoř splní požadavky předmětné normy, prokáže tím, že je schopna kompetentně pracovat a poskytovat platné výsledky. Také je přímo v normě zmíněno, že pokud jsou splněny požadavky ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018, pak laboratoř pracuje i v obecném souladu se zásadami ČSN EN ISO 9001: 2016 [1].

Z předchozí kapitoly vyplývá, že laboratoř musí uvažovat rizika a příležitosti a plánovat opatření zaměřená na jejich řešení. Tím je vytvořen základ pro lepší efektivitu managementu a dosažení lepších výsledků práce. Je však na odpovědnosti laboratoře, kterým rizikům a příležitostem se bude věnovat [1]. Díky této větě je tedy ponechána naprostá volnost v oblasti managementu rizik a příležitostí. Některé laboratoře mají tuto problematiku rozsáhle zpracovanou, jiné ji mají vyhotovenou jen z povinnosti.

V neposlední řadě je také v úvodu normy uvedeno, že jejím používáním je usnadněna spolupráce mezi laboratořemi a dalšími subjekty a že přijímání výsledků v různých zemích je rovněž usnadněno, pokud se postupuje dle normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 [1].

2.1 Obecné požadavky (kap. 4)

2.1.1 Nestrannost (kap. 4.1)

Požadavek na nestrannost je plněn pomocí několika kroků. Vedení laboratoře se zavazuje v interním dokumentu „Příručka kvality“, že nebude vyvíjet žádný tlak na zaměstnance laboratoře, aby nedocházelo k ovlivňování výsledků kalibrací ani ostatních činností laboratoře [6].

Zaměstnanci podepisují prohlášení, ve kterém se zavazují, že se v rámci výkonu pracovní činnosti nenechají ovlivňovat od managementu, zadavatelů služeb či zástupců výrobců měřicí techniky. Dále také, že nepřijmou úplatek [6].

Organizační struktura laboratoře a z ní vyplývající odpovědnosti pracovníků je vytvořena takovým způsobem, aby nedocházelo ke střetu zájmů, pokud některý pracovník vykonává více činností [6].

Průběžně jsou identifikována rizika týkající se nestrannosti. Jsou řešeny situace, kdy by mohlo dojít k porušení nestrannosti ze strany některého zaměstnance, a situace, kdy by si na porušení nestrannosti stěžoval zákazník. Ke každému nalezenému neakceptovatelnému riziku je stanoveno opatření pro jeho snížení na přijatelnou úroveň či úplnou eliminaci [6].

2.1.2 Důvěrnost (kap. 4.2)

Pro zajištění důvěrnosti má kalibrační laboratoř vyčleněné své vlastní prostory v rámci mateřské společnosti, které jsou plně pod její kontrolou. Dále jsou využívány takové postupy

a úložiště důvěrných informací, které zamezují zneužití třetí osobou (omezený přístup k elektronickým záznamům, uzamčené prostory pro skladování tištěné dokumentace) [6].

Veškeré metody a postupy vydané a schválené vedením laboratoře zajišťují ochranu důvěrných informací o zákaznících, předmětech kalibrace a výsledcích měření. Rovněž všechny záznamy, které vznikají při použití výše zmíněných metod a postupů, jsou považovány za důvěrné [6].

V případě poskytnutí důvěrných informací třetí straně je o tomto kroku zákazník vždy informován, pokud to není v rozporu se zákonem. Poskytnutí důvěrných informací je však možné pouze na základě vzájemné dohody (včetně ústní dohody), nebo žádosti ze zákonných důvodů [6].


Vzhledem k faktu, že kalibrace probíhají přímo u zákazníků, je zajištění důvěrnosti pro laboratoř snazší. Není tak nutné zavádět např. knihu návštěv či prověřovat pracovníky úklidu a vyžadovat po těchto osobách podepsání prohlášení o důvěrnosti informací a o mlčenlivosti.

Všichni zaměstnanci laboratoře však musejí podepsat prohlášení o mlčenlivosti, jehož součástí je seznámení s důležitostí ochrany důvěrných informací a vlastnických práv zákazníků. Zaměstnanci se rovněž zavazují podpisem k dodržování kodexu laboratoře, plnění požadavků GDPR a ochrany dat [6].

Lze tedy konstatovat, že obecné požadavky ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 jsou v laboratoři plněny a v této oblasti není potřeba žádných dalších kroků.

2.2 Požadavky na strukturu (kap. 5)

Prvním požadavkem na strukturu dle normy je, že laboratoř musí být právním subjektem, či jeho definovanou součástí, která je právně odpovědná za své laboratorní činnosti [1]. Tato povinnost je samozřejmě splněna a forma je k vidění na obr. 4.

5. Požadavky na strukturu	
5.1 Právní subjekt	
Typ organizace:	Společnost s ručením omezeným
Název organizace:	IMECO TH s.r.o.
Název laboratoře:	Kalibrační laboratoř IMECO TH
Datum vzniku:	27. 1. 2006
Statutární zástupce:	Bc. David Hladík, Ing. Milena Hladíková
IČO organizace:	27674959
DIČ organizace:	CZ27674959
Sídlo organizace:	Modřice, Tyršova 1183, PSČ 664 42
Telefon:	+420 539 002 196
Mobil:	+420 736 613 666
E-mail:	imeco-th@imeco-th.cz
http:	www.imeco-th.cz
Vedoucí laboratoře:	

Obr. 4 Identifikace právního subjektu [6]

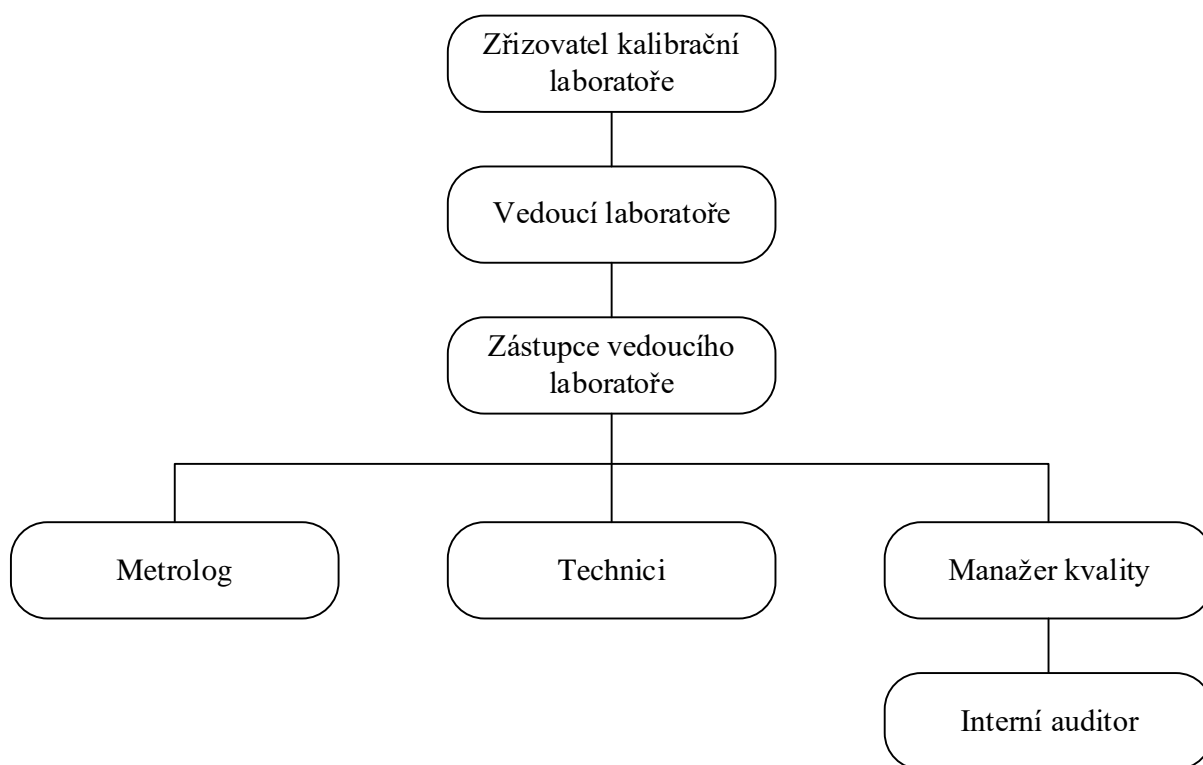
Vzhledem ke značné provázanosti laboratoře a mateřské organizace IMECO TH jsou kontaktní údaje i datum vzniku stejné. Z obr. 4 je patrné, že laboratoř má určené vedení, což je také požadavek normy [1].

Rozsah laboratorních činností je definován v rámci Příručky kvality následujícím způsobem: „Základní činnosti laboratoře jsou kalibrace a zkoušení shody metrologických charakteristik měřicích přístrojů v oblasti měření geometrických veličin. Konkrétně se jedná o tyto činnosti:

- Zkouška shody charakteristik délky – úchylek tvaru a polohy kruhoměru se specifikacemi
- Zkouška shody charakteristik délky – tvaru profiloměru/ konturografu se specifikacemi.“ [6]

Jednotlivé činnosti jsou následně detailně popsány formou vývojových diagramů procesů a samozřejmě i příslušných interních postupů. Veškerá dokumentace k činnostem je vypracována v souladu s požadavky normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018.

Další požadavek normy je na určení organizační a řídicí struktury laboratoře [1]. Z důvodu ochrany osobních údajů je struktura na obr. 5 obecná a lehce upravená vůči skutečnému stavu, avšak podstata je zachována.



Obr. 5 Organizační struktura laboratoře – převzato z [6] a upraveno

Odpovědnosti, pravomoci a vzájemné vztahy jednotlivých pozic z organizační struktury jsou zpracovány v rámci dokumentu „Maticе odpovědností“, který je navázaný na Příručku kvality.

Pracovníci mají zdroje potřebné k plnění svých povinností – jak laboratorních, tak i povinností plynoucích ze zavedeného systému managementu. Tyto zdroje plynou z jejich pracovních pozic a jsou vymezené v rámci pracovních smluv. Pro případ, že se během vykonávání pracovních povinností objeví odchylka, jsou zavedeny „Související postupy“. Příklad takového postupu ve formě vývojového diagramu procesu „Neshodná práce“ bude uveden v dalším pokračování této kapitoly.

Posledním požadavkem na strukturu je nutnost zajištění komunikace ohledně efektivnosti systému managementu a důležitosti respektování požadavků zákazníků a dalších požadavků plynoucích z činnosti laboratoře [1]. Neodkladné záležitosti týkající se managementu jsou v kalibrační laboratoři IMECO TH řešeny ad hoc se zástupcem vedoucího laboratoře. O důležitých skutečnostech je vytvořen záznam, který je následně uložen, a vedení se mu musí do stanovené lhůty věnovat [6]. Důležitost respektování požadavků zákazníků a dalších požadavků byla již řešena v rámci předešlé podkapitoly 2.1.

2.3 Požadavky na zdroje (kap. 6)

2.3.1 Obecně (kap. 6.1)

Laboratoř musí mít k dispozici pracovníky, prostory, vybavení, systémy a podpůrné služby nezbytné k řízení a provádění svých laboratorních činností. V dalších podkapitolách této části normy jsou uvedeny konkrétní požadavky na výše uvedené zdroje [1].

2.3.2 Pracovníci (kap. 6.2)

Prvním požadavkem na pracovníky je, že musejí jednat nestranně, musejí být kompetentní a pracovat v souladu se systémem managementu laboratoře [1]. O nestrannosti a důrazu na dodržování systému managementu již bylo pojednáno dříve, a lze tedy konstatovat, že tyto požadavky jsou splněny.

Pro splnění požadavku normy na dokumentaci požadavků na kompetenci byla vytvořena následující tab. 1, která je součástí „Související dokumentace (SD)“. Některé buňky tabulky jsou nevyplněné nebo nejsou úplné z důvodu zachování diskrétnosti.

Tab. 1 Kvalifikační požadavky na zaměstnance [7]

Funkce		Požadavky		Ostatní předpoklady
Pracovní pozice	Zkratka	Vzdělání	Minimální délka praxe na dané pozici	
Vedoucí laboratoře	VL	VŠ	-	Školení v oblasti managementu a v oblasti stanovení nejistoty měření; angličtina minimálně na úrovni B1
Zástupce vedoucího laboratoře	ZVL	VŠ	-	Školení v oblasti managementu; angličtina na úrovni minimálně B1
Metrolog	M	VŠ	-	Ochota zdokonalovat se v oblasti kalibrací – proaktivní sledování článků, účast na seminářích; angličtina minimálně na úrovni B1
Technik	T	SŠ	-	Elektrotechnické vzdělání; angličtina minimálně na úrovni B1

Manažer kvality	MK	SŠ	-	Znalost principů řízení kvality dle ISO 9001
Interní auditor	IA	SŠ	-	Dobré komunikační dovednosti

Nyní budou jednotlivé pracovní pozice stručně popsány:

- Vedoucí laboratoře zodpovídá za správné fungování laboratoře. Podepisuje a schvaluje všechny dokumenty týkající se managementu laboratoře. Přezkoumává dokumentaci. Je odpovědný za výpočet nejistot měření. Jedině on může vydávat stanoviska, pokud si je vyžádá zákazník.
- Zástupce vedoucího laboratoře také podepisuje a schvaluje dokumentaci týkající se managementu. Je odpovědný za vyřizování stížností, za výběr nových pracovníků, zvyšování kvalifikace pracovníků. Sám může provádět kalibrace. Vydává spolu s vedoucím kalibrační list.
- Metrolog je v současné době identická osoba jako zástupce vedoucího laboratoře. Mezi jeho povinnosti patří stanovení zdrojů nejistoty měření při kalibraci, validace metod, dodržování metrologické návaznosti měřidel. Je též odpovědný za technický stav laboratorních pomůcek používaných při kalibraci.
- Technik provádí kalibrace u zákazníků, zachází s laboratorními pomůckami, komunikuje se zákazníky, vyplňuje výkaz z měření. Může být pověřen vedoucím či zástupcem ke spolupráci např. při vyřizování stížností či přezkumu dokumentace. Za žádnou činnost nezodpovídá, pouze ji provádí.
- Manažer kvality odpovídá za nastavení a udržování systému managementu laboratoře. Identifikuje rizika spojená s laboratorními činnostmi, vydává dokumenty systému managementu, stanovuje program auditů. Odpovídá také za řízení záznamů.
- Interní auditor provádí audity dle programu auditů. Výsledky prezentuje manažerovi kvality, který je následně podstoupí po analýze vedoucímu laboratoře.

Jak již bylo zmíněno, konkrétní popis pracovní pozice je obsahem Karty pracovníka a vzájemné vztahy, pravomoci a odpovědnosti popisuje Matice odpovědností.

Aby byla zachována kompetence pracovníka pro provádění pracovní činnosti vzhledem k měnícím se podmínkám v oblasti kalibrací měřidel, je vypracován a jednou ročně aktualizován plán pro zvyšování kvalifikací pracovníků. Tento plán vypracovává zástupce vedoucího laboratoře a jeho obsahem je program školení a odborných seminářů, kterých se konkrétní zaměstnanci účastní [6]. Postup interního a externího školení a vytvoření záznamu o jejich absolvování je zpracován formou podpůrných procesů.

Norma ukládá povinnost, že vedení laboratoře musí informovat pracovníky o jejich povinnostech, odpovědnostech a pravomocích [1]. Povinnosti a práva jsou upraveny zejména Zákoníkem práce a vykonávanou funkcí, se kterou souvisejí definované odpovědnosti a pravomoci.

Pracovníci se řídí pokyny dle Příručky kvality, nastavených procesů, postupů v Související dokumentaci a bezpečnostními předpisy [6].

Kromě stanovených kvalifikačních požadavků na kompetenci má laboratoř vypracované i postupy pro výběr pracovníků a jejich následného školení. Obě předchozí položky jsou zpracovány formou procesů. Dohled nad pracovníky je úkolem vedoucího laboratoře a zástupce vedoucího laboratoře a řídí se postupem v Související dokumentaci SD81. Součástí SD81 je rovněž vymezení pravomocí pracovníků (Matice odpovědností). Sledování kompetencí pracovníků je prováděno v rámci každoročního přezkoumání systému managementu [6].

Poslední požadavek normy na pracovníky nařizuje, že laboratoř musí pověřovat pracovníky k provádění specifických laboratorních činností [1]. Pro tento účel pověřuje VL a ZVL pracovníky specifickými činnostmi dle jejich pozice, a především dle samostatného dokumentu Související dokumentace SD82 [6].

2.3.3 Prostory a podmínky prostředí (kap. 6.3)

Podmínky prostředí se sledují a zaznamenávají u zákazníka. Kalibrace přístrojů probíhá za stejných podmínek jako při běžném provozu stroje. Pokud je během kalibrace zaznamenána odchylka od referenčních podmínek, je zákazník upozorněn, že důsledkem bude zvýšená nejistota měření [6]. V současné době je měřena teplota – okolního vzduchu a samotného měřicího zařízení. Pro výsledek měření není příliš podstatná hodnota teploty, ale během měření nesmí teplota příliš kolísat. Je doporučen interval $(21 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$ [6].

Požadavky na prostory a podmínky prostředí jsou zachyceny v „Technickém postupu TP18001“ [6]. Vhodné podmínky jsou zajištěny ve spolupráci se zákazníkem.

Pokud se na místě kalibrace vyskytnou nestandardní podmínky (např. nadměrná prašnost, vibrace způsobené okolní technologií), zaznamená je technik do protokolu, a poté je na posouzení metrologa, zda mohl být ovlivněn výsledek kalibrace [6].

2.3.4 Vybavení (kap. 6.4)

Laboratoř má přístup k vybavení, které je nezbytné pro korektní provádění laboratorních činností a které má vliv na výsledky [1], [6]. Kompletní seznam měřidel je obsahem Související dokumentace SD54.

Pokud vyžaduje zákazník kalibraci dle svého vlastního etalonu, musí být tento etalon prokazatelně metrologicky navázán pomocí akreditované kalibrační laboratoře. Návaznost se dokládá kalibračním listem ne starším 3 let (interní požadavek kalibrační laboratoře IMECO TH). Vedení laboratoře musí dále schválit použití takového etalonu a technik posoudí jeho způsobilost přímo u zákazníka [6].

Etalony kalibrační laboratoře IMECO TH jsou skladovány v robustních schránkách, které jsou uvnitř polstrované, a každý etalon je ještě chráněn svým vlastním obalem. Při manipulaci s etalonem se musejí nosit rukavice. Díky těmto opatřením je zabráněno poškození etalonů při skladování, přepravě i použití.

Ke každému měřidlu je k dispozici jeho karta (Související dokumentace SD83), ve které je uvedeno, zda bylo někdy měřidlo opravováno, jakou má nejistotu kalibrace, dokdy je platná současná kalibrace, jaký je postup pro provádění kontroly měřidla, současné umístění měřidla, plán údržby a další údaje [8].

Pro přehlednější orientaci v seznamu měřidel je vytvořena tabulka v programu MS Excel. Pokud zbývá z platné kalibrace déle než rok, je řádek s měřidlem podbarven zelenou barvou, pokud zbývá 6 měsíců až 1 rok, je podbarvení žluté a pokud zbývá méně než 6 měsíců,

je podbarvení červené. Podle podbarvení se stanovuje program kalibrací na daný rok. Program stanoví metrolog a následně je schválen vedením laboratoře.

Všechna měřidla v laboratoři jsou označena štítkem, na kterém je uvedeno logo laboratoře, inventární číslo měřidla, datum poslední kalibrace a datum, do kdy kalibrace platí [6].

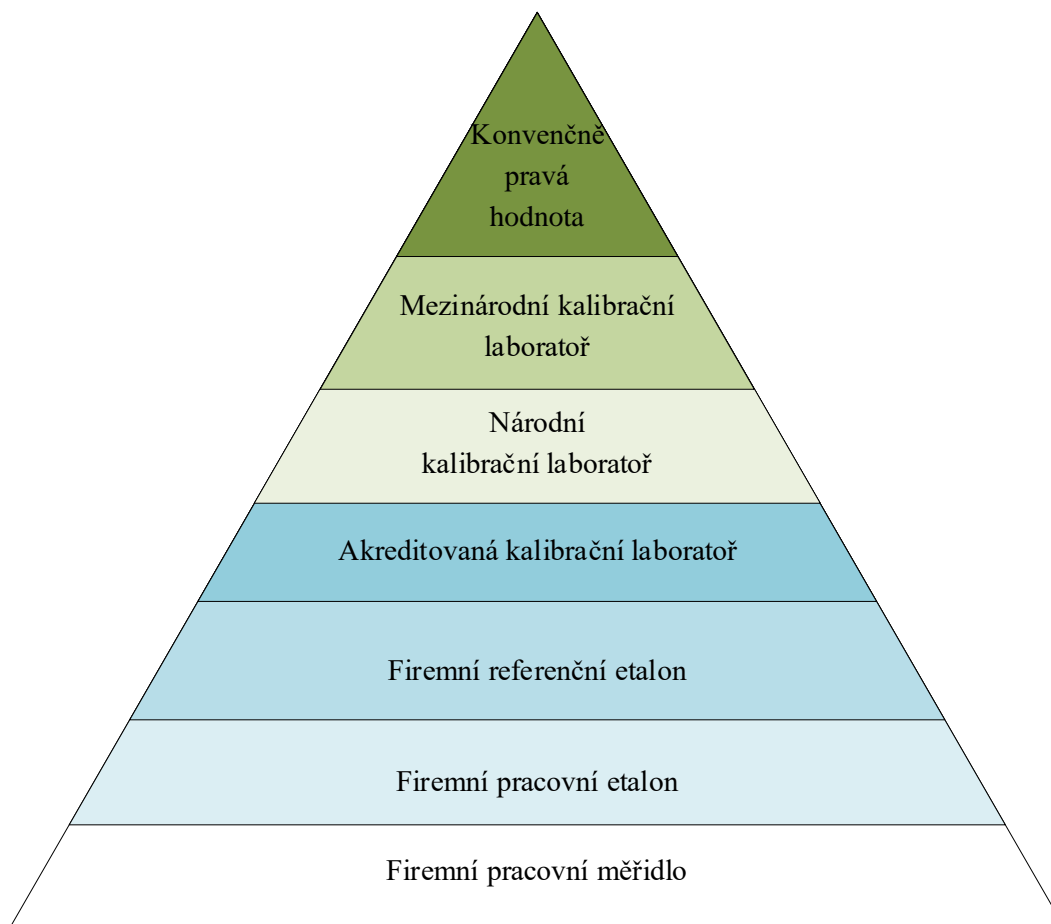
Pokud má technik během kalibrace důvodné podezření, že etalon je neshodný vůči své specifikaci, přeruší kalibraci, na štítek napíše poznámku, provede záznam do výkazu měření a informuje vedení laboratoře. Vedení dále rozhodne, zda je nutné etalon znovu zkalibrovat či např. zcela vyřadit [6].

U měřidel používaných v laboratoři IMECO TH nelze změnit nastavení a znehodnotit tím výsledky měření. Většina etalonů jsou pevné standardy. Pro monitorování teploty jsou použity digitální teploměry, u kterých nelze snadným způsobem změnit nastavení, a tím ovlivnit výsledek měření [6].

Z výše uvedených bodů vyplývá, že požadavky normy [1] na vybavení laboratoře jsou splněny, přičemž velká většina relevantních informací se nachází v kartě měřidla.

2.3.5 Metrologická návaznost (kap. 6.5)

Laboratoř musí stanovit a udržovat metrologickou návaznost výsledků měření pomocí dokumentovaného nepřerušného řetězce kalibrací, z nichž každá přispívá k nejistotě měření [1]. V kalibrační laboratoři IMECO TH je potřeba stanovit metrologickou návaznost u etalonů, které uchovávají jednotky délky a teploty z mezinárodní soustavy jednotek SI. Obecné schéma metrologické návaznosti lze vidět na obr. 6. V České republice je národní kalibrační laboratoř zároveň mezinárodní kalibrační laboratoří a jedná se o Český metrologický institut se sídlem v Brně.



Obr. 6 Pyramida metrologické návaznosti [9]

Při každém postupu na nižší patro pyramidy na obr. 6 se zvyšuje nejistota měření kalibrace plynoucí z použití měřidel nižší metrologické přesnosti, a také jinými podmínkami při měření. Měřicí vybavení kalibrační laboratoře IMECO TH se nachází v úrovni „Firemní referenční etalon“. Kalibrace etalonů používaných pro kalibraci kruhoměrů, konturografů a drsnoměrů (ocelové válce, skleněné rovinné plochy, skleněné hemisféry, etalony zvětšení) probíhá v akreditované kalibrační laboratoři společnosti Taylor Hobson v anglickém Leicesteru. Teploměry se kalibrují v akreditované kalibrační laboratoři Meros, spol. s r.o. v Zubří, respektive kalibrace je provedena externě přímo v prostorách kalibrační laboratoře IMECO TH.

V obou případech je vystaven kalibrační list, který je uchován, a nejistota z kalibrace je dále přepsána do karty příslušného měřidla. Tím je zajištěna metrologická návaznost.

Certifikované referenční materiály se v laboratoři nepoužívají, a není tedy nutné zajišťovat jejich metrologickou návaznost.

2.3.6 Externě poskytované produkty a služby (kap. 6.6)

Jelikož je IMECO TH obchodním zástupcem výrobců přesné měřicí techniky, smí nabízet v rámci kalibrací pouze produkty a služby, které výrobci sami doporučují a nabízejí. Jedinou výjimkou je možnost použití etalonu, který si přeje použít zákazník, jak bylo popsáno v rámci kapitoly 2.3.4.

Pro administrativní činnosti jsou využívány služby mateřské společnosti [6]. Další podpůrné produkty či služby (např. kalibrační štítky, kompresor pro zajištění chodu kruhoměrů,...) jsou poskytovány vybranými dodavateli.

Požadavky na dodavatele externě poskytovaných produktů a služeb jsou uvedeny v Související dokumentaci SD50. Tento dokument je však obecné povahy a konkrétní požadavky jsou uvedeny až v rámci poptávkového a výběrového řízení [6]. Zohledňuje se efektivnost, hospodárnost a účelnost. Je zpracován i podpůrný proces pro přezkum dodavatelů a případný výběr nových.

Je však potřeba zdůraznit, že externě poskytované produkty a služby od dodavatelů, kteří jsou přezkoumáváni, jsou používány pouze pro „vedlejší činnosti“ a neovlivňují výsledek kalibrace.

2.4 Požadavky na proces (kap. 7)

7. kapitola normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 se zabývá požadavky zejména na činnosti související s přidáváním hodnoty produktu (kalibračnímu listu). V oblasti požadavků na proces měla dosud kalibrační laboratoř IMECO TH největší nedostatek oproti požadavkům normy [1].

Je nutné podotknout, že řada požadavků na procesy byla při dosavadní činnosti laboratoře plněna, avšak chyběly vývojové diagramy procesů, které výrazně usnadňují orientaci v procesu a umožňují i zaměření se na úzká místa procesu. V důsledku této absence je následně velmi obtížné zvažovat rizika při určitých činnostech či se pokoušet o efektivní řízení a neustálé zlepšování.

Pro potřeby této diplomové práce budou způsoby plnění jednotlivých požadavků 7. kapitoly normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 popsány v následující kapitole až poté, co dojde k úvodu do problematiky procesního řízení.

2.5 Požadavky na systém managementu (kap. 8)

2.5.1 Možnosti (kap. 8.1)

Každá laboratoř, která se chce nechat akreditovat, musí vytvořit, dokumentovat, zavést a udržovat systém managementu. Ten musí zajistit plnění požadavků normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018. Jsou dvě možnosti, jak prokázat splnění požadavků na systém managementu [1].

Možnost A nařizuje laboratoři, že její systém managementu se musí zaměřovat minimálně na:

- Dokumentaci systému managementu
- Řízení dokumentace
- Řízení záznamů
- Opatření zaměřená na řešení rizik a příležitostí
- Zlepšování
- Nápravná opatření
- Interní audity
- Přezkoumání systému managementu [1].

Možnost B již předpokládá, že laboratoř má zavedený systém managementu v souladu s požadavky normy ČSN EN ISO 9001: 2016. Pokud v takovém případě laboratoř splňuje

i požadavky 4. až 7. kapitoly normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018, považuje se, že plní přinejmenším i výše uvedené požadavky na systém managementu [1].

Kalibrační laboratoř IMECO TH využívá pro splnění požadavků na systém managementu možnost A.

2.5.2 Dokumentace systému managementu (kap. 8.2)

Prvním požadavkem této podkapitoly je vytvoření, dokumentování a udržování politik a cílů pro splnění účelů normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 [1]. Kalibrační laboratoř IMECO TH má uvedené politiky managementu v rámci Příručky kvality. Vedení laboratoře se zavazuje, že bude:

- Pracovat, jednat a chovat se vždy nestranně
- Zachovávat důvěrnost zákazníka
- Poskytované služby provádět v přiměřené kvalitě
- Spolupracovat se zákazníkem s cílem porozumět mu a vyhovět jeho požadavkům
- Dbát na rozvoj a vysokou odbornou úroveň všech pracovníků laboratoře
- Důsledně zachovávat soulad s požadavky normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018
- Pravidelně přezkoumávat systém managementu
- Vytvářet a udržovat dokumentaci systému managementu
- Provádět záznamy z procesů laboratoře
- Zavádět opatření na řešení rizik a příležitostí
- Podporovat zlepšování
- Vypracovávat a zavádět nápravná opatření
- Provádět interní audity [6].

Z výše uvedeného přehledu je patrné, že většina bodů již byla v práci zmíněna, což je samozřejmé, protože politiky jsou obecné a musejí být v souladu s požadavky normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018. Politiky jsou povětšinou neměnné (záleží samozřejmě na směřování organizace) a stanovují se minimálně na celý jeden akreditační cyklus.

Cíle jsou naopak konkrétní a časově ohraničené body, které jsou obvykle neveřejné. V kalibrační laboratoři IMECO TH jsou uvedeny v rámci samostatné Související dokumentace SD03. Jsou stanoveny na jeden rok a na konci roku následně vyhodnoceny na poradě managementu. Pro příklad uveďme následující cíle:

- „V posledním čtvrtletí roku 2023 podat žádost o akreditaci kalibrační laboratoře.“
- „V roce 2023 zahájit účast laboratoře v programu mezilaboratorního porovnávání.“ [10].

Aby byly cíle smysluplné, je při jejich stanovování vhodné využívat princip SMART (Specifické, Měřitelné, Akceptovatelné, Realistické, Termínované). Tyto vlastnosti cíle umožní jeho splnění, a také vyhodnocení, zda byl splněn [11].

Otázky přípravy, zavedení a neustálého zlepšování managementu jsou diskutovány na pravidelných poradách vedení a z každé porady je vytvořen zápis. Přehled veškeré řízené dokumentace laboratoře je součástí systému managementu laboratoře a je pravidelně přezkoumáván a aktualizován. Dále mají všichni pracovníci přístup k té části dokumentace

systému managementu, která souvisí s jejich povinnostmi [6]. Lze tedy konstatovat, že laboratoř plní veškeré požadavky normy na dokumentaci systému managementu.

2.5.3 Řízení dokumentů systému managementu (kap. 8.3)

Laboratoř musí řídit interní i externí dokumenty, které se týkají plnění požadavků normy [1]. Požadavky na řízenou dokumentaci jsou obsaženy v Související dokumentaci SD53, přičemž na tento dokument odkazuje i Příručka kvality. Seznam všech řízených dokumentů je uveden v rámci Související dokumentace SD51.

SD53 hovoří o nutnosti schválení dokumentů oprávněnými pracovníky jako přiměřených před jejich vydáním. Je přesně vymezeno, kdo může který dokument vydávat, přezkoumat a schválit (např. Příručku kvality vydává manažer kvality, přezkoumává a schvaluje ji vedoucí laboratoře) [12].

Dokumentace je jednou ročně revidována v rámci interního auditu. Pokud je nutné provést změny, upozorní interní auditor na tuto skutečnost vedoucího laboratoře. Ten následně provede změnu sám, či pověří jiného oprávněného pracovníka ke změně dokumentace. Každou změnu je nutné zaznamenat – změní se verze dokumentu, zaznamená se, kdo změnu provedl a uvede se důvod změny – nejčastěji je důvodem aktualizace jiného dokumentu, na který je odkazováno, zřídka se jedná o změnu vynucenou chybnou funkcí původního dokumentu [12]. V případě, že je změna vyžadována ihned, nečeká se pochopitelně na audit a je provedena neprodleně.

Vedení laboratoře se zavazuje, že všechny dokumenty potřebné pro chod laboratoře budou k dispozici pracovníkům na příslušných místech použití, v aktuální platné verzi a že dokumentace bude řádně a jednoznačně identifikovatelná. Každý řízený dokument v kalibrační laboratoři IMECO TH obsahuje hlavičku, ve které jsou uvedeny název a označení dokumentu, jeho verze, jména osob, které dokument vydaly a schválily, a také věta, že daný dokument je vytvořen a uložen ve formě datového souboru a založen v jednom výtisku ve složce záznamů o kvalitě [12].

Je řešena rovněž otázka přístupových práv k dokumentaci. Opět je vymezeno, kdo má jaká práva (čtení, zápis, odepření přístupu) k určitým dokumentům. Pokud je nutné uchovávat i neplatnou dokumentaci, musí být taková dokumentace řádně označena. Používá se nápis „NEPLATNÁ DOKUMENTACE“ v úvodu takového dokumentu [12].

Součástí SD53 je také pyramida řízení dokumentace, kterou můžeme vidět na následujícím obr. 7



Obr. 7 Pyramida řízení dokumentace [12]

Legenda k obr. 7 je následující: PK = Příručka kvality, MPA = Metodický pokyn pro akreditaci, KP = Kalibrační postup, PP = Procesní postup, SD = Související dokumentace

Vzhledem k výše uvedenému textu lze říci, že laboratoř plní požadavky normy [1] na řízení dokumentů.

2.5.4 Řízení záznamů (kap. 8.4)

Záznamy prokazující splnění požadavků normy musejí být uchovány v čitelné podobě [1]. V kalibrační laboratoři IMECO TH jsou připraveny formuláře, které se po svém vyplnění stávají záznamy. Jedná se zejména o záznam z proběhlého měření (pracovní výkaz), dále formuláře pro schůze managementu – např. pro zjištění neshod.

Přehled záznamů je uchováván v rámci Související dokumentace SD52, ve které jsou též přiřazeny odpovědnosti k jednotlivým záznamům a doba, po kterou se mají záznamy uchovávat. Po vystavení kalibračního listu či vypořádání se s neshodou již není nutné uchovávat záznamy o těchto skutečnostech, a proto jsou následně smazány či vyhozeny do papírového odpadu [13].

2.5.5 Opatření k zohlednění rizik a příležitostí (kap. 8.5)

Manažer kvality laboratoře identifikuje a vyhodnocuje rizika spojená s činností laboratoře. Jsou uvažovány následující oblasti: nestrannost, důvěrnost, personál, technické vybavení, prostory a podmínky prostředí při kalibraci, metrologická návaznost, laboratorní procesy, verifikace a validace metod, záznamy, nejistoty měření, výsledky měření a protokoly, výroky o shodě, uvádění stanovisek a interpretací, komunikace se zákazníky, řízení dat a managementu informací, systém managementu laboratoře, zásah vyšší moci [6].

U každého identifikovaného rizika se určí jeho možný důsledek a stanoví se význam rizika a pravděpodobnost výskytu (obojí v rozmezí 1 ÷ 4). Míra rizika je poté dána součinem významu a pravděpodobnosti výskytu a dle velikosti je rozdělena do následujících skupin:

- 1 ÷ 3 nízká míra rizika
- 4 ÷ 8 střední míra rizika
- 9 ÷ 16 vysoká míra rizika [14]

Vysokou míru rizika je nutné snížit. U těchto rizik jsou navržena opatření (např. rozvoj služeb, širší portfolio dodavatelů, porady managementu), a rovněž uvedeny předpokládané úrovně významu rizika a pravděpodobnosti výskytu po aplikaci opatření. Při následném přezkoumání je nutné zkontrolovat, zda bylo předpokládaných úrovní dosaženo – tedy, zda jsou opatření efektivní. U střední míry rizika je nutné dbát zvýšené opatrnosti a je nezbytné se na tato rizika důkladně zaměřit při dalším periodickém přezkoumání rizik. Nízká míra rizika nepředstavuje problém [14].

Z výše uvedeného popisu je zřejmé, že laboratoř využívá pro analýzu rizik některé části techniky procesní FMEA. Nejsou sice dodrženy všechny náležitosti techniky, avšak pro potřeby plnění požadavků normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 je postup vyhovující.

2.5.6 Zlepšování (kap. 8.6)

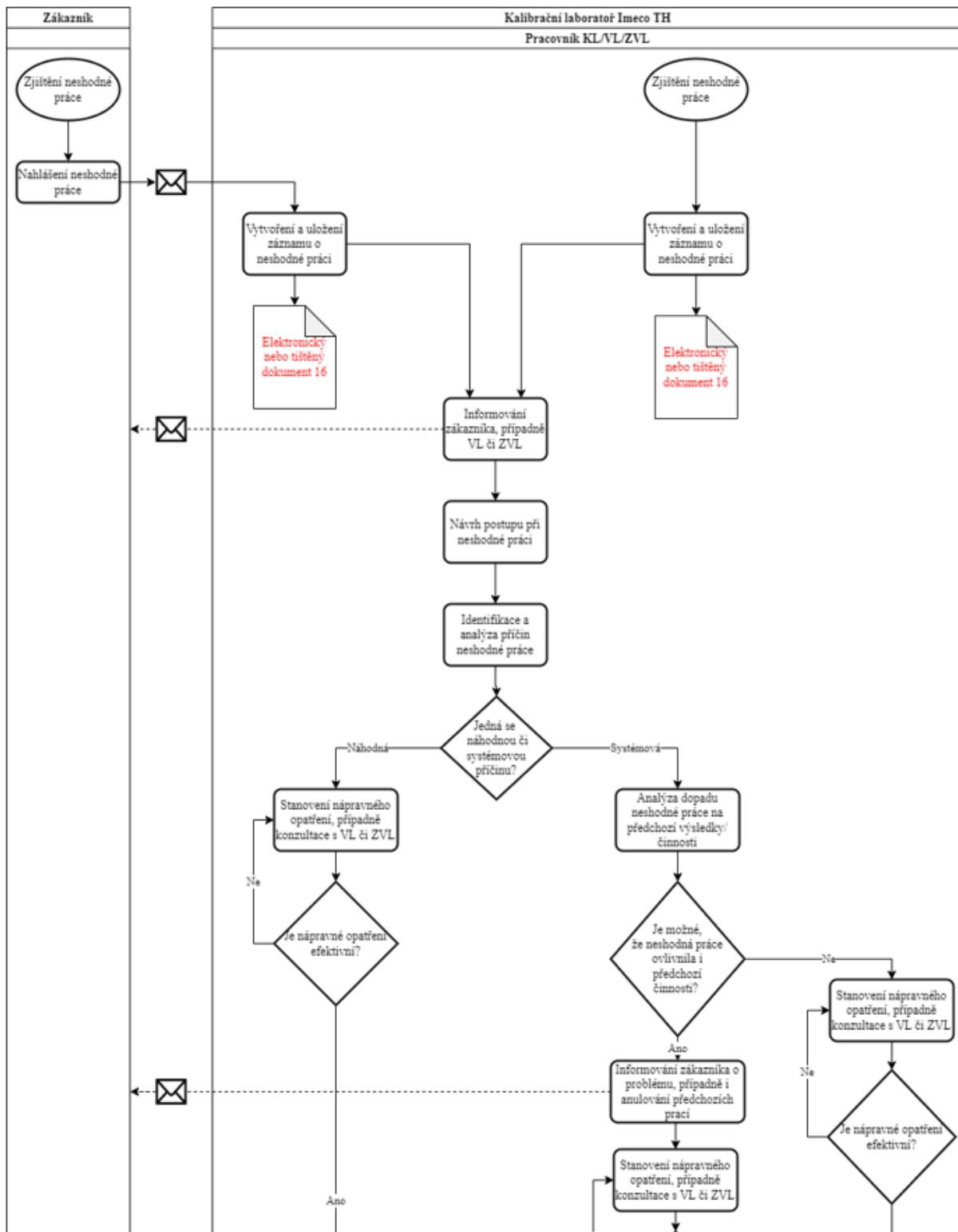
Identifikace příležitostí je jedním ze základních bodů činnosti každého pracovníka kalibrační laboratoře a je v popisu jejich pracovních činností. Volba a zavedení procesů zlepšování je v kompetencích vedoucího laboratoře a zástupce vedoucího laboratoře [6].

Konkrétní formy pro zlepšování jsou provádění interních auditů, nastavování cílů kvality v souladu s principem SMART, důraz na neustálé vzdělávání zaměstnanců a plánované zařazení laboratoře do programu mezilaboratorních porovnávání. V neposlední řadě je též od zákazníků získávána zpětná vazba, která je předána nejčastěji v mluvené podobě, následně je zaznamenána techniky a vyhodnocena vedením laboratoře.

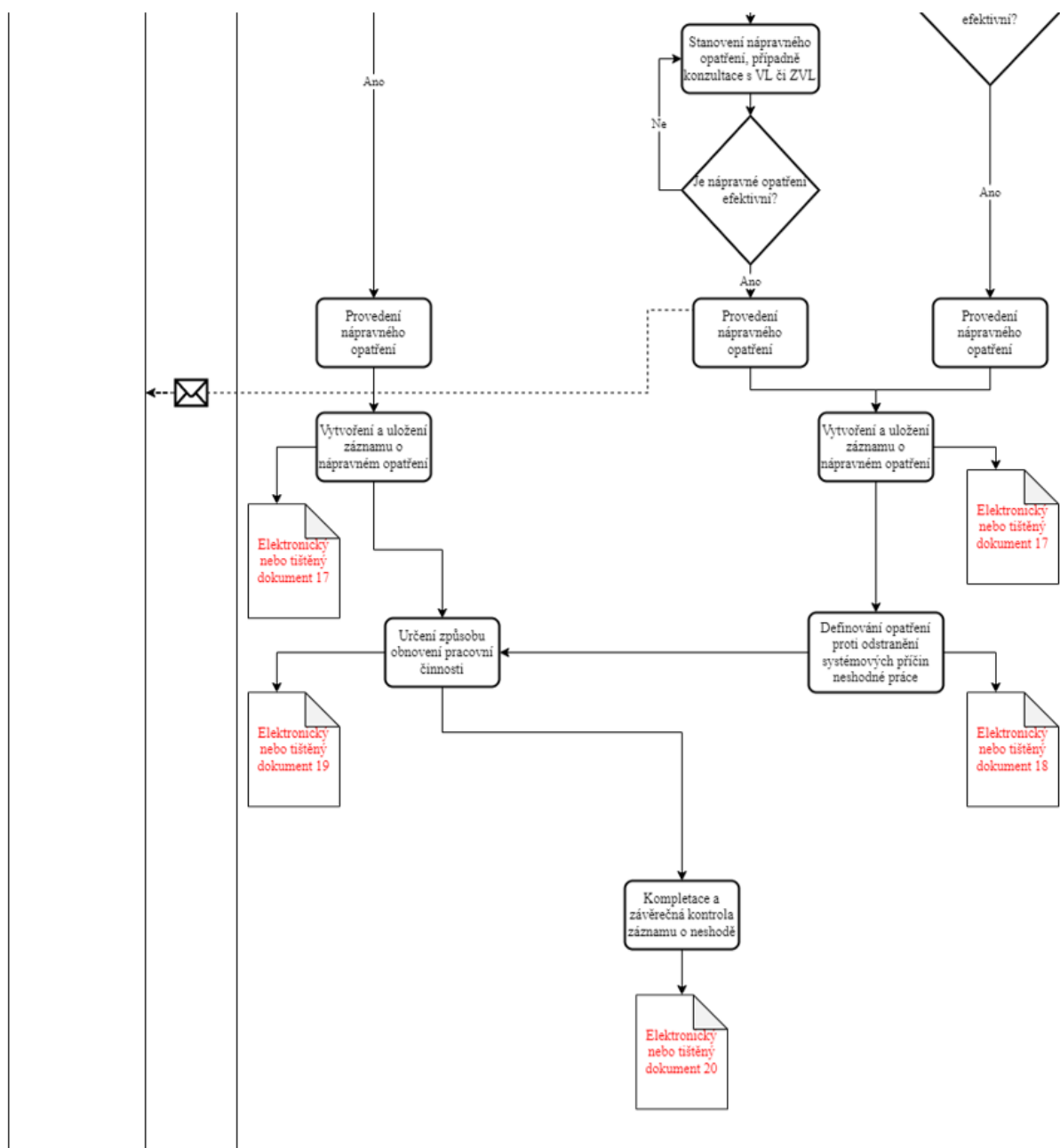
2.5.7 Nápravná opatření (kap. 8.7)

Nápravná opatření úzce souvisejí s problematikou neshodné práce, kterou se zabývá jedna z podkapitol 7. kapitoly normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018. V rámci přípravy na akreditaci byl vytvořen vývojový diagram procesu právě pro případ neshodné práce, který můžeme vidět na následujících obr. 8 a obr. 9. Z obrázků vyplývá, že neshodnou práci může nahlásit zákazník, ale i zaměstnanec laboratoře. Následně se vytvoří záznam o výskytu neshodné práce, který je podstoupen vedoucímu laboratoře (VL) či zástupci vedoucího laboratoře (ZVL). Dále probíhá analýza neshodné práce a nalezení efektivního nápravného opatření. V případě zjištění systémové příčiny neshodné práce je nutné rovněž definovat a zavést opatření za účelem eliminace příčiny.

Laboratoř tedy reaguje na neshody, analyzuje je, určuje jejich příčiny, navrhuje opatření, jejichž efektivnost je přezkoumávána, v případě systémové příčiny neshody provádí změny v managementu a všechny podstatné činnosti dokumentuje formou záznamů. Těmito kroky plní veškeré požadavky normy [1] na nápravná opatření.



Obr. 8 Vývojový diagram procesu "Neshodná práce" 1. část – vlastní dílo



Obr. 9 Vývojový diagram procesu "Neshodná práce" 2. část – vlastní dílo

2.5.8 Interní audity (kap. 8.8)

Laboratoř musí provádět pravidelně interní audity, aby získala informace, zda systém managementu odpovídá požadavkům vlastním a požadavkům normy [1].

Interní audity probíhají v laboratoři IMECO TH jednou ročně. Program auditů stanovuje manažer kvality. Skládá se z plánů jednotlivých auditů, které vytváří interní auditor, dále zahrnuje časový harmonogram, rozsah jednotlivých auditů a požadavky na zdroje pro provádění auditů [6].

Programy auditů se týkají zejména přezkoumání systému managementu laboratoře, přezkoumání laboratorních činností či přezkoumání externích dodavatelů. Podkladem pro tvorbu programu jsou výsledky předchozích auditů, připomínky zaměstnanců, případné stížnosti zákazníků a do budoucna i výsledky mezilaboratorního porovnávání. Výjimečně může

dojít i k mimořádnému auditu, který je vyvolaný neplánovanou změnou v managementu či změnou určitého postupu např. jako důsledek neshodné práce. Mimořádný audit se pak zaměřuje na efektivnost změny/navrženého opatření [6].

Výsledky auditu zpracuje interní auditor ve formě záznamu, který je následně předán manažerovi kvality. Ten má povinnost prezentovat výsledky managementu laboratoře. Pokud je po auditu nutné provést nápravné opatření, musí být tato situace vyřešena ve lhůtě, kterou stanoví management. Následně se vytvoří a uloží záznam o provedení nápravného opatření a proběhne přezkoumání opatření [6].

2.5.9 Přezkoumání systému managementu (kap. 8.9)

Vedení laboratoře má povinnost přezkoumávat systém managementu laboratoře v pravidelných intervalech pro zajištění trvalé vhodnosti, přiměřenosti a efektivnosti [1].

Přezkoumání probíhá jednou ročně na poradě managementu laboratoře. Manažer kvality určí rozsah přezkoumání a podle potřeby zpracuje buď sám, nebo s pomocí kompetentních osob zprávu o přezkoumání, která je následně prezentována vedoucímu laboratoře a zástupci vedoucího laboratoře [6]. Postup vypracovávání zprávy je obsahem Související dokumentace SD66.

Vstupy pro přezkoumání systému managementu jsou:

- Změny externích či interních předpisů týkajících se provozu laboratoře
- Záznamy o vyhodnocení dosažených cílů za daný rok
- Výsledky předchozího přezkoumání – zejména efektivita navržených opatření
- Výsledky interních a externích auditů
- Změny v objemu a typu prováděných pracích, pokud nějaké proběhly
- Připomínky zaměstnanců a zpětná vazba od zákazníků včetně stížností
- Záznamy o provedených školeních zaměstnanců
- Výsledky analýzy rizik a procesu snižování nepřijatelných rizik
- A další dokumenty podle rozsahu přezkoumání [15]

Vypracované zprávy od manažera kvality se následně stávají součástí SD66 a jsou archivovány. Manažer kvality spolu s vedoucím laboratoře poté společně zhotoví záznam z přezkoumání systému managementu, který obsahuje hodnocení současného stavu (efektivnosti managementu), návrhy na zlepšení, zajištění potřebných zdrojů pro plnění požadavků managementu, a pokud je to nutné, tak i návrh na řešení neshod s termíny, dokdy mají být neshody odstraněny a dokdy musí proběhnout přezkoumání efektivnosti změn. [15].

3 NASTAVENÍ PROCESŮ DLE POŽADAVKŮ ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018

V předešlé kapitole bylo zmíněno, že absence procesního přístupu byla zřejmě největším nedostatkem laboratoře ve vztahu k požadavkům normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018. Procesní přístup je však nezbytný nejen pro splnění požadavků normy, ale rovněž pro každodenní efektivní fungování laboratoře. Grafické znázornění procesů umožní jejich snadnější pochopení a orientaci v nich. Lze identifikovat úzká místa v procesu. Pokud přijde do firmy nový zaměstnanec, s pomocí vývojového diagramu procesu ho lze rychleji zaučit. Další výhodou je, že zaměstnanci vidí svoji práci jako součást celku, vidí, co všechno je závislé na jejich činnosti, což by je mělo motivovat k produktivní práci. Na každý proces je nutné pohlížet tak, že je možné ho neustále zlepšovat a aplikovat na něj PDCA cyklus.

V této kapitole bude nejprve představen úvod do procesního řízení, a následně bude popsáno, jakým způsobem by mohla kalibrační laboratoř IMECO TH splnit požadavky 7. kapitoly normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 – tedy požadavky na proces.

3.1 Procesní přístup a procesní řízení

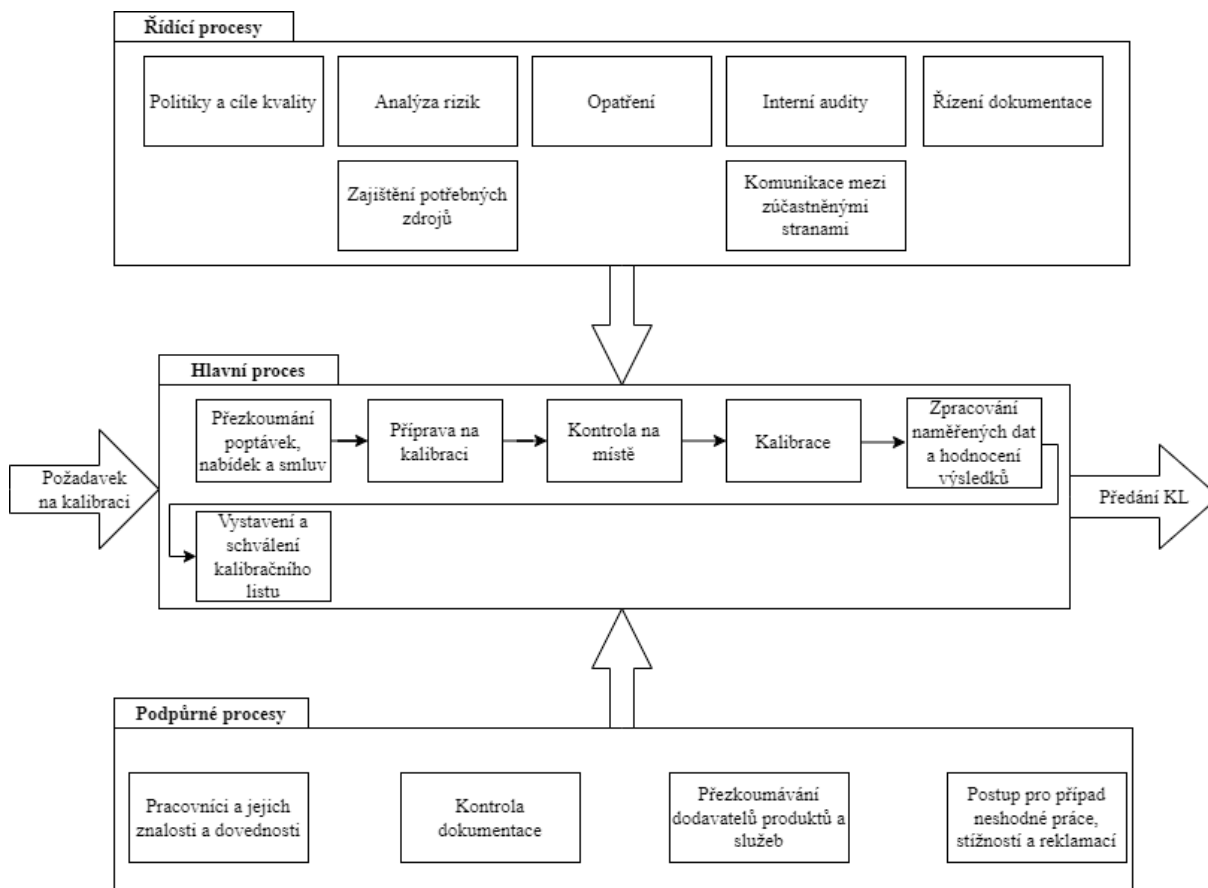
Procesem rozumíme sled určitých činností, které na sebe navazují a které mění vstupy na výstupy při současném přidávání hodnoty vstupům a spotřebovávání zdrojů. Procesní přístup je jednou ze sedmi základních zásad managementu kvality, protože umožňuje efektivní dosažení vytyčených cílů, pokud jsou činnosti a zdroje potřebné pro vykonávání činností řízeny jako proces [16].

3.1.1 Procesní mapa

Prvním krokem procesního přístupu je zmapovat procesy probíhající ve společnosti. Rozlišujeme tři skupiny procesů:

- Řídící – procházejí celou organizací, zahrnují činnosti jako např. stanovení politiky a cílů kvality, stanovení organizačního uspořádání. Odpovídá za ně management organizace.
- Hlavní – přidávají hodnotu vstupům, a slouží tedy k uspokojování zákazníků, jsou nosnou činností organizace.
- Podpůrné – zajišťují provádění dalších nezbytných činností, obstarávají zdroje pro procesy hlavní [16].

Výše uvedené tři skupiny procesů je vhodné znázornit do procesní mapy, ve které je poté názorně vidět provázanost procesů. Procesní mapu pro kalibrační laboratoř IMECO TH můžeme vidět na obr. 10.



Obr. 10 Procesní mapa laboratoře – vlastní dílo

3.1.2 Popis procesů

Každý proces je nutné popsat. K tomuto účelu slouží více technik – slovní popis, vývojový diagram, karta procesu, želví diagram či kombinace metod [16]. V laboratoři IMECO TH je používána kombinace slovního popisu a vývojových diagramů.

U všech procesů je uveden název, vlastník procesu, z vývojového diagramu je patrné, kdo může provádět danou činnost. V Příručce kvality či konkrétní Související dokumentaci je popsáno, které dokumenty či záznamy jsou potřebné jako vstupy pro daný proces. Pro každý proces jsou vyčleněny zdroje nutné pro jeho realizaci. V současné době nejsou u procesů sledovány výkonnostní parametry.

3.1.3 Procesní řízení

Rozlišujeme tři základní přístupy k řízení činností v organizaci:

- Funkční – založen na rozdělení práce podle specializace do jednotlivých útvarů. Může vzniknout problém při komunikaci mezi útvary. Je to nejstarší typ řízení.
- Procesní – je založen na procesech, které zpravidla procházejí více organizačními jednotkami společnosti. Procesy se opakují – jsou to rutinní činnosti.
- Projektový – používá se pro projekty – tedy unikátní jednorázové ohraničené činnosti [17].

Po popisu a zavedení procesů může následovat sledování jejich výkonnosti a snaha o zlepšování. Lze použít řadu metod (Six Sigma, statistické řízení, PDCA cyklus, Total Quality Management,...) [17].

V laboratoři IMECO TH je v současné době řízení procesů na třetí úrovni dle modelu CMM – tedy procesy organizace jsou zdokumentovány. V této oblasti zůstává prostor pro zlepšení. Avšak současná personální situace nedovoluje zaměřit síly na zlepšení úrovně řízení procesů. Pokud by k tomu v budoucnu došlo, pravděpodobně by byl využit PDCA cyklus na vybrané procesy. Stanovily by se cíle procesů a z nich vyplývající ukazatele výkonnosti, které by byly následně vyhodnoceny v rámci pravidelného přezkoumání managementu. Norma ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 sice nevyžaduje vysokou úroveň řízení procesů (tedy takovou, kdy je u každého procesu měřena výkonnost a podléhá procesu neustálého zlepšování), stačí procesy zdokumentovat. Aby nedošlo k nedorozumění – ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 samozřejmě požaduje po systému managementu zlepšování, avšak toho lze dosáhnout např. stanovením vhodných cílů, identifikací zdrojů rizik či programem zvyšování kvalifikace zaměstnanců. Není nutné vyžadovat zlepšování v každém procesu společnosti. Avšak pro ještě lepší výsledky procesního přístupu by bylo vhodné do budoucna věnovat této problematice pozornost.

3.2 Požadavky na proces (kap. 7)

V této podkapitole bude představen návrh na splnění požadavků normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 na laboratorní procesy. Autor práce vytvořil vývojové diagramy ke všem procesům probíhajícím ve společnosti – 7 procesů hlavních, 9 procesů podpůrných a 7 procesů řídicích. Uvedení všech diagramů by však bylo neefektivní, a navíc je nutné brát ohled na diskrétnost. Proto bude uvedeno jen několik ukázek vývojových diagramů procesů.

3.2.1 Přezkoumání poptávek, nabídek a smluv (kap. 7.1)

Laboratoř musí mít postup pro přezkoumání poptávek, nabídek a smluv, který zajistí, že požadavky jsou dostatečně definovány, dokumentovány a pochopeny, že laboratoř má prostředky pro splnění požadavků, že pokud jsou využíváni externí dodavatelé, je o tom informován zákazník, a že jsou zvoleny vhodné metody pro splnění požadavků zákazníka [1].

Dále má laboratoř povinnost informovat zákazníka o vhodnosti jím navrhované metody, jasně definovat rozhodovací pravidla výroku o shodě, pokud jej zákazník požaduje. Všechny rozdíly mezi poptávkou a smlouvou musejí být vyřešeny před začátkem laboratorních činností. Pokud se vyskytne v průběhu práce odchylka, musí být zákazník neprodleně informován a musí se zopakovat přezkoumání smlouvy [1].

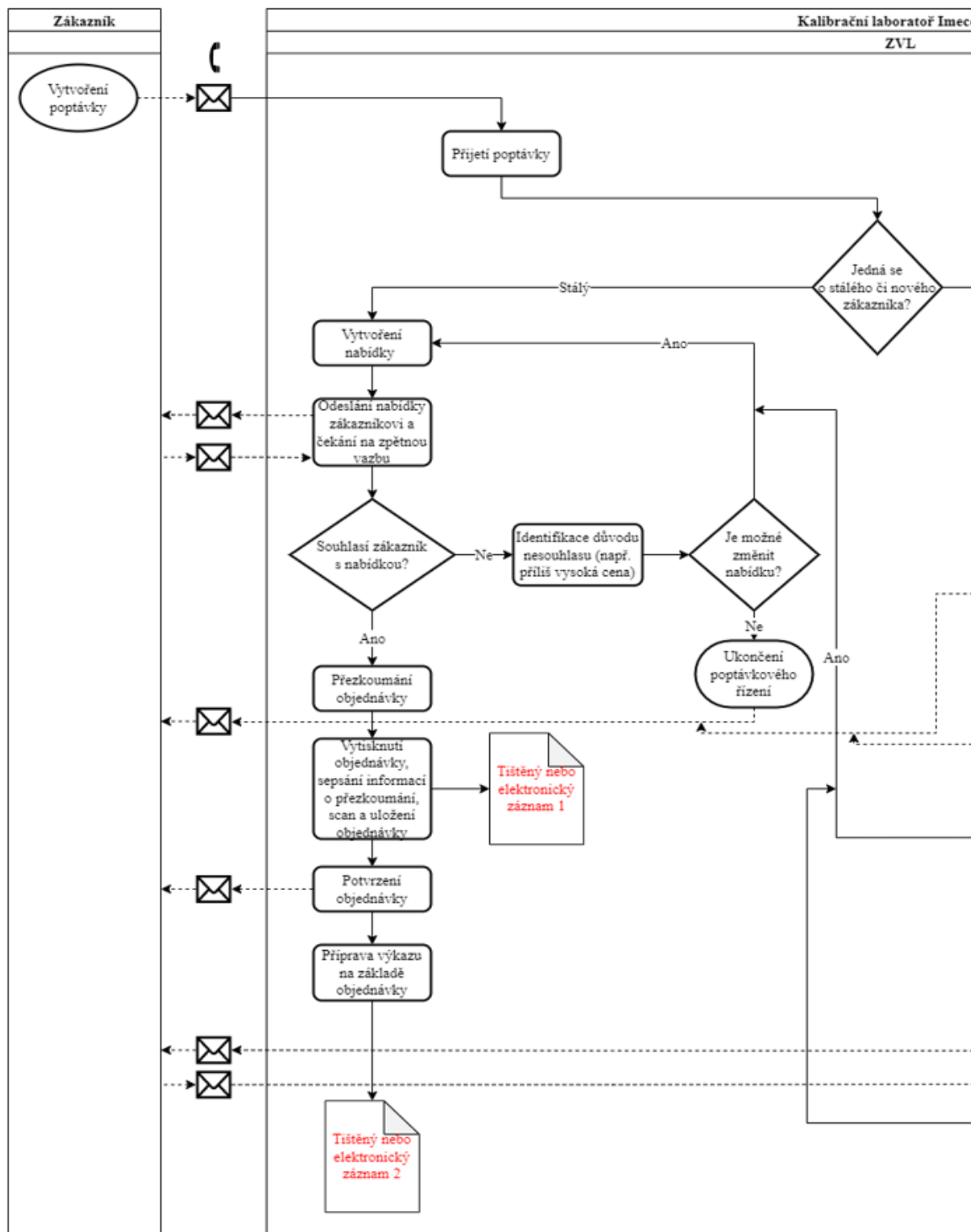
Nezbytná je též spolupráce se zákazníkem při objasňování požadavků zákazníka a při sledování výkonu laboratoře. Veškeré záznamy o přezkoumání, a také komunikace se zákazníkem týkající se jeho požadavků, musejí být uchovávány [1].

Poptávku přijímá pouze zástupce vedoucího laboratoře e-mailem či telefonicky. Vzhledem k plánovacímu kalendáři je ihned schopen rozhodnout, zda má laboratoř prostředky pro splnění poptávky. Další postup se odvíjí podle toho, zda se jedná o nového či stálého zákazníka. Vývojový diagram procesu přezkoumání poptávek, nabídek a smluv je znázorněn na obr. 11 a obr. 12.

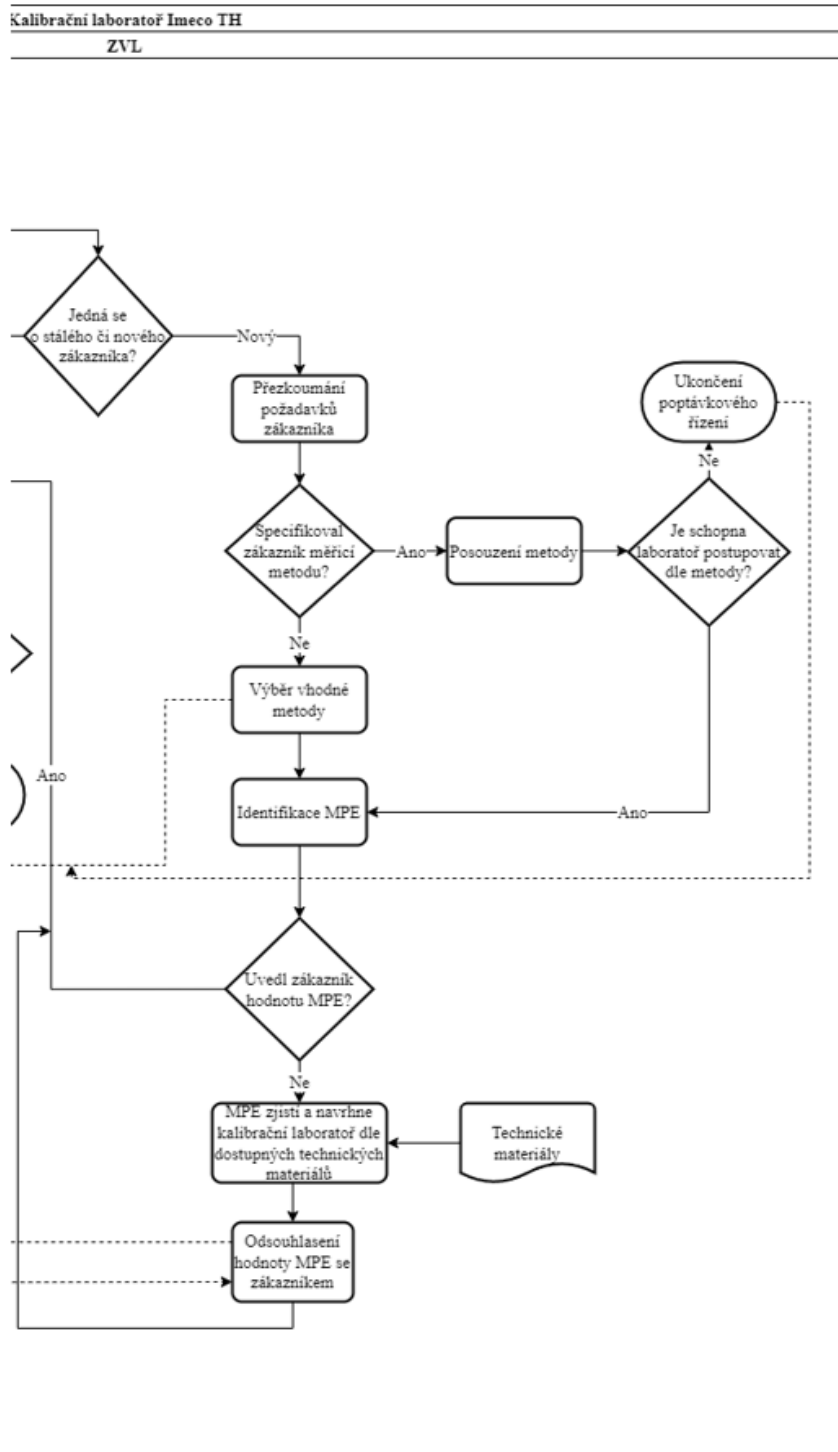
K plnění jednotlivých požadavků normy [1] budiž dodáno, že laboratoř IMECO TH nevyužívá externí dodavatele pro laboratorní služby. V rámci výběru vhodné metody pro plnění

požadavků zákazníka jsou již specifikovány postupy pro případy změny smlouvy a přesně vymezeno, které informace musí zákazník obdržet.

Pokud zákazník vyžaduje výrok o shodě se specifikací, využívá se postup dle dokumentu ILAC-G8:09/2019 – Pokyny pro použití rozhodovacích pravidel a uvádění výroků o shodě. Standardně je využíván nebinární výrok s ochranným pásmem, avšak pokud by zákazník vyžadoval použití jiného rozhodovacího pravidla dle ILAC-G8:09/2019, bude mu vyhověno [18].



Obr. 11 Vývojový diagram procesu "Přezkoumání poptávek, nabídek a smluv" 1. část – vlastní dílo



Obr. 12 Vývojový diagram procesu "Přezkoumání poptávek, nabídek a smluv" 2. část – vlastní dílo; MPE = Maximální dovolená chyba

3.2.2 Výběr, verifikace a validace metod (kap. 7.2)

Laboratoř musí používat vhodné metody a postupy pro všechny činnosti a pro vyhodnocení nejistoty měření i statistické postupy. Všechny používané metody a postupy musejí být aktualizované a snadno dostupné pracovníkům. Je povinností používat nejnovější platnou verzi metody. Jedinou výjimku tvoří případy, kdy by to nebylo vhodné, či to není možné [1].

Pokud si zákazník sám nestanoví metodu, je povinností laboratoře zvolit vhodnou metodu sama a o této volbě informovat zákazníka. Před zavedením každé metody musí laboratoř ověřit, zda je schopna dosáhnout požadované výkonnosti, přičemž musí záznam o verifikaci uchovat. Je-li požadován vývoj nových metod, musí se jednat o plánovanou činnost, za kterou je odpovědný kompetentní pracovník. Nově vyvíjená metoda musí být periodicky přezkoumávána. Odchytky od kterékoliv metody jsou přípustné pouze tehdy, je-li odchylka dokumentována, odborně zdůvodněna, schválena a přijata zákazníkem [1].

V kalibrační laboratoři IMECO TH jsou používány dvě metody – jedna pro kalibraci profiloměrů, druhá pro kalibraci kruhoměrů. Pro vyhodnocení nejistoty měření jsou používány standardní statistické nástroje doporučené organizací EA. Obě metody jsou založeny na doporučení výrobců přesné měřicí techniky, jak tato zařízení kalibrovat, dále vycházejí z technických norem a vlastních zkušeností zaměstnanců laboratoře. Metody jsou zaznamenány jako „Kalibrační postupy“. Z obr. 11 vyplývá, že stálý zákazník automaticky volí jednu ze dvou nabízených metod. Naopak pokud je zákazník nový a sám navrhne metodu, je na posouzení zástupce vedoucího laboratoře, zda může laboratoř postupovat dle navržené metody, jak ukazují obr. 11 a obr. 12.

Díky neustálému kontaktu s výrobcí zařízení a pravidelnému přezkoumávání aktuálnosti dokumentů jsou používány vždy nejnovější postupy.

Obě výše zmíněné metody jsou používány již dlouhou dobu a jejich výkonnost je ověřena ve formě seznamu provedených kalibrací, respektive seznamu vystavených kalibračních listů. Jsou tedy verifikovány.

Žádná nová metoda není vyvíjena, ani se do budoucna neplánuje vývoj. Avšak, pokud by k takové situaci mělo dojít, byl by vývoj svěřen metrologovi, který má uvedenou tuto činnost v popisu práce. Po vývoji by muselo dojít k verifikaci metody – tedy ověření, zda je navržený postup realizovatelný a k validaci – potvrzení, že metodou je možné naplnit požadavky zákazníka (tedy dosáhnout pozitivního výsledku kalibrace vzhledem ke stanovené maximální dovolené chybě). Proběhly by série měření s pomocí nové metody a byla by stanovena nejistota měření při kalibraci. Pro tento úkol by metrolog nejprve musel určit relevantní zdroje nejistot a celý proces vývoje i výpočtu nejistot řádně zdokumentovat.

Jak již bylo zmíněno v předešlé podkapitole 3.2.1 – už při vytvoření nabídky je zákazník informován o možných odchylkách od metod a záleží pouze na něm, jestli s nimi souhlasí.

Validace metod (kap. 7.2.2)

Laboratoř má povinnost validovat nestandardní metody, metody vyvinuté laboratoři a standardní metody používané mimo určený rozsah. Jakákoliv změna u validované metody musí být podrobena zkoumání, zda nemá vliv na původní validaci. Pokud ano, musí se validace opakovat. Laboratoř musí uchovávat záznamy týkající se použitého postupu validace, specifikace požadavků, stanovení výkonnostních charakteristik metody, získaných výsledků a prohlášení o platnosti metody [1].

Jak již bylo zmíněno, validaci má potenciálně na starosti metrolog. Nejprve by byly stanoveny výkonnostní charakteristiky metody – např. rozsah měření, linearita, opakovatelnost, maximální velikost nejistoty měření či jiné s ohledem na požadavky zákazníka. Následně by došlo k systematickému hodnocení faktorů ovlivňujících výsledky kalibrace – tedy iterativnímu postupu výpočtu nejistoty měření do dosažení uspokojivých výsledků vzhledem k hodnotám výkonnostních charakteristik. Posledním krokem validace měřicí metody by bylo její zařazení do programu mezilaboratorního porovnávání.

Pokud jsou u metody splněny všechny výkonnostní charakteristiky, a úspěšně projde mezilaboratorním porovnáváním, vydá metrolog prohlášení o platnosti metody. Výše popsany postup validace by se použil jak pro nově vyvíjené metody a postupy, tak i pro ty navržené zákazníkem. Avšak za více než 17letou historii laboratoře se nestalo, že by zákazník sám navrhl měřicí metodu. Navíc by trvalo poměrně dlouhou dobu, než by došlo k mezilaboratornímu porovnávání metody, protože program porovnávání vypisovaný Českým metrologickým institutem je na každý rok omezený a obsahuje pouze určitý počet metod.

3.2.3 Vzorkování (kap. 7.3)

Vzorkování v kalibrační laboratoři IMECO TH neprobíhá, a proto není nutné řešit tento požadavek normy.

3.2.4 Zacházení se zkušebními a kalibračními položkami (kap. 7.4)

Laboratoř musí mít postup pro přepravu, příjem, zacházení, ochranu, skladování, uchovávání a likvidaci nebo navrácení kalibračních položek. Dále je nutné zřídit systém pro jednoznačnou identifikaci kalibračních položek, aby nemohlo dojít k záměně položek [1].

Při příjmu kalibrační položky se musí zaznamenat odchylky od stanovených podmínek. Pokud položka neodpovídá poskytnutému popisu, musí laboratoř projednat další postup se zákazníkem. Vyžaduje-li zákazník použití takové položky a uznává odchylku od specifikovaných podmínek, musí být tato skutečnost zaznamenána ve výsledkové zprávě [1].

Pokud je nutné položky skladovat nebo uchovávat za specifikovaných okolních podmínek, musejí se tyto podmínky udržovat, monitorovat a zaznamenávat [1].

Jelikož probíhají kalibrace u zákazníků, není nutné, aby měla kalibrační laboratoř postupy pro přepravu, příjem, ochranu, skladování, uchovávání a navrácení kalibračních položek. Pokud jde o zacházení s kalibrační položkou, tak přístroj obsluhuje buď technik sám, nebo ve spolupráci s jeho operátorem, pokud nemá k obsluze dostatečnou kvalifikaci a způsobilost [6].

Identifikace kalibrační položky probíhá také u zákazníka. Již při sjednání objednávky sdělí zákazník identifikační číslo přístroje, které je zapsáno do pracovního výkazu. Technik přijíždí k zákazníkovi již s předpřipraveným výkazem a zkontroluje, zda identifikační číslo přístroje odpovídá tomu ve výkazu [6].

Pokud má technik pochybnosti o vhodnosti určité položky (přístroje) pro kalibraci, ať už z funkčních důvodů, či např. vlivem klimatických podmínek na pracovišti, projedná je se zákazníkem a provede zápis do pracovního výkazu [6].

Během celého měření je zaznamenávána teplota okolního vzduchu a teplota kalibrované položky. Je na odpovědnosti zákazníka, při jaké teplotě bude kalibrace probíhat. Zákazník je

však upozorněn, že příliš velká odchylka od 21 °C či výrazné kolísání teploty bude mít vliv na zvýšenou nejistotu měření [6].

3.2.5 Technické záznamy (kap. 7.5)

Laboratoř musí zajistit, aby technické záznamy u každé laboratorní činnosti obsahovaly výsledek měření a uváděly dostatek informací pro identifikaci faktorů ovlivňujících výsledek měření a s ním spojené nejistoty měření. Dále musí technický záznam obsahovat datum a jména pracovníků odpovědných za konkrétní laboratorní činnost [1].

Pokud dojde ke změně technického záznamu, musí být změna zpětně sledovatelná a musejí se uchovat jak původní, tak pozměněná data a soubory včetně data změny, údajů o pozměněných aspektech a o pracovnících odpovědných za změny [1].

Veškerá naměřená data včetně podmínek při kalibraci, data a místa měření, ale i informace týkající se zákazníka a jeho případných připomínek, jsou zaznamenávána do pracovního výkazu. Po vyplnění výkazu jej nechá technik podepsat zákazníkem, sám jej podepíše a odešle ho vedoucímu laboratoře. Ten následně zkontroluje výkaz, provede výpočet nejistoty měření a převede data z výkazu do kalibračního listu [6]. Kalibrační list poté slouží jako definitivní technický záznam a jako takový je i uchováván v laboratoři v elektronické podobě s omezeným přístupem.

Pokud je nutné provést změnu v technickém záznamu, postupuje se dle dvou možností. První z nich se použije v případě, že změna je spíše formální (např. chybně přepsané číslo přístroje, překlepy, chybné datum). V takovém případě se údaj přepíše v elektronické verzi dokumentu, zákazníkovi je zaslán nový dokument a ve zprávě je popsáno, co bylo důvodem změny [6].

Druhá možnost je uplatněna, když je změn více, či se v průběhu kontroly výkazu zjistí, že naměřené hodnoty jsou neúplné či chybné. V takovém případě je vypracován záznam úplně nový, avšak v hlavičce má uvedeno, že se jedná o „změněný záznam“. Laboratoř uchovává i původní záznam a se zákazníkem konzultuje další postup. V případě chybných naměřených hodnot může dojít i k opakování kalibrace [6].

3.2.6 Vyhodnocení nejistoty měření (kap. 7.6)

Laboratoř musí identifikovat příspěvky k nejistotě měření a následně při vyhodnocování nejistoty měření musí vzít v úvahu všechny významné příspěvky. Nejistota měření musí být vyhodnocena pro všechny kalibrace. Laboratoř provádějící zkoušení musí též vyhodnocovat nejistoty měření [1].

V současné době probíhá v laboratoři IMECO TH výpočet nejistoty měření dle Související dokumentace SD21 – „Technický postup“. V ní jsou uvedeny postupy kalibrace jednotlivých přístrojů, teorie k nejistotám měření, možné obecné zdroje nejistot při měření, ale také konkrétní zdroje nejistoty měření při kalibraci jednotlivých přístrojů [19].

Na základě SD21 vznikl excelovský soubor, ke kterému má přístup pouze vedoucí laboratoře. Vedoucí přepíše naměřené hodnoty do souboru a ten za pomoci naprogramovaných rovnic vypočte nejistotu měření. Ta je poté uvedena v rámci kalibračního listu, který obdrží zákazník. Obsah SD21, jakož i program pro výpočet nejistoty měření, jsou v souladu s pokyny dokumentu EA 4/02 M:2022 – Vyhodnocení nejistoty měření při kalibraci.

Při stanovení nejistoty měření je pro jednotlivé přístroje však uvažováno malé množství zdrojů (v jednom případě pouze 2 zdroje). I když jsou tyto zdroje dominantní složkou výsledné nejistoty měření a vycházejí z dlouholeté praxe, bylo by vhodné dokument SD21 dopracovat.

Jednou z možností by bylo uvést více zdrojů nejistot, a následně matematicky vyčíslit jejich velikosti. Poté lze říci, že některé složky jsou skutečně zanedbatelné a nemusejí být ve výsledném výpočtu uvažovány. Tento postup však musí být dokumentován. Detailní rozpočet nejistoty měření při kalibraci kruhoměru včetně stručného popisu teorie nejistot měření bude uveden v následující kapitole.

3.2.7 Zajišťování platnosti výsledků (kap. 7.7)

Laboratoř musí mít postup pro monitorování platnosti výsledků. Výsledná data se musejí zaznamenávat pro zjišťování trendů. Monitorování musí být plánováno a přezkoumáváno. Dále musí laboratoř sledovat svoji výkonnost porovnáním s výsledky jiných laboratoří tam, kde je to nutné a potřebné. Všechny údaje z monitorování se musejí analyzovat, používat k řízení a případně ke zlepšování laboratorních činností. Pokud analýza odhalí odchylku od předem definovaných kritérií, musejí se přijmout vhodná opatření [1].

V laboratoři jsou využívány následující techniky pro zajištění platnosti výsledků, které jsou v souladu s normou [1]:

- Funkční kontrola měřicích zařízení (u zákazníků)
- Použití pracovních etalonů s regulačními diagramy tam, kde je to možné
- Opakované kalibrace pomocí stejných metod
- Opakované kalibrace uchovávaných položek (etalonů)
- Přezkoumání uváděných výsledků
- Mezilaboratorní porovnání – plánováno do budoucna [6]

Laboratoř tedy využívá interní postupy pro zajištění platnosti výsledků, které vycházejí ze zavedeného systému managementu laboratoře. Jedná se o přezkoumání uváděných výsledků, kalibrace používaných etalonů a používání validovaných metod.

Do budoucna je plánováno i zařazení laboratoře do programu mezilaboratorního porovnávání, tedy externího způsobu zajištění platnosti výsledků. Vypracování plánu mezilaboratorního porovnávání (MPZ) je nutností pro udělení akreditace. Certifikovaným orgánem pro vyhodnocení MPZ je Český metrologický institut.

Údaje z monitorování platnosti výsledků jsou zaznamenávány a pravidelně vyhodnocovány. Největší riziko pro neplatný výsledek představuje chybný přepis hodnot vedoucím laboratoře, chybně provedené měření technikem či poškození etalonu. Všechny tyto možnosti jsou však dobře potlačeny nastaveným systémem managementu – tedy i kdyby došlo k chybě, následná kontrola ji s velkou pravděpodobností odhalí včas.

3.2.8 Uvádění výsledků (kap. 7.8)

Výsledky musejí být před vydáním přezkoumávány a schvalovány. Musejí být uváděny přesně, jasně a objektivně v kalibračním listu a obsahovat všechny informace dohodnuté se zákazníkem [1].

Výše zmíněný požadavek je v laboratoři IMECO TH plněn, což dokazují předchozí kapitoly této práce.

Dále norma specifikuje společné obecné požadavky na zprávy (o zkouškách, kalibračních nebo vzorkování) [1]. Laboratoř má pro tyto účely vytvořen vzor kalibračního listu, který obsahuje všechny požadované body. Laboratoř odpovídá za všechny zveřejněné informace v kalibračním listu, kromě těch, které jsou dodané zákazníkem. Taková informace je řádně označena [6]. Vzor kalibračního listu je uveden v příloze A této práce.

V normě poté následují specifické požadavky na protokoly o zkouškách, kalibrační listy a protokoly o odběru vzorků [1]. Vzhledem k zaměření laboratoře budou dále popsány jen požadavky na kalibrační listy. Kalibrační list musí obsahovat kromě obecných požadavků i následující:

- Nejistotu výsledku měření uvedenou ve stejné jednotce jako měřená veličina nebo ve vyjádření relativním k měřené veličině (tedy v procentech)
- Podmínky, za nichž probíhala kalibrace, a mají na ni vliv
- Prohlášení o metrologické návaznosti měření
- Výsledky před a po každé adjustaci nebo opravě, jsou-li k dispozici
- Pokud je to relevantní, výrok o shodě s požadavky či specifikacemi
- Případné názory a interpretace [1]

Norma zakazuje uvádět doporučení týkající se kalibračního intervalu do kalibračního listu či kalibračního štítku, pokud to nebylo se zákazníkem dohodnuto [1].

Kalibrační listy vydávané kalibrační laboratoří IMECO TH splňují specifické požadavky na ně kladené (viz vzor v příloze A).

Další části této podkapitoly normy se zabývají situacemi, kdy je požadováno uvést výrok o shodě či stanovisko nebo interpretaci. Při uvádění výroku o shodě se specifikacemi musí laboratoř dokumentovat použité rozhodovací pravidlo s přihlédnutím k úrovni rizika spojeného s použitím daného pravidla. Musí být též jasně rozpoznatelné, na které výsledky se výrok o shodě vztahuje. Pokud zákazník požaduje vyjádření stanoviska a interpretace, musí laboratoř zajistit, že tyto bude vydávat pouze kompetentní zaměstnanec. Dále musí dokumentovat, z čeho stanoviska a interpretace vycházejí. Stanoviska a interpretace musejí být založeny na získaných výsledcích měření [1].

Použití rozhodovacího pravidla při uvádění výroku o shodě již bylo diskutováno v rámci podkapitoly 3.2.1 této práce. Pokud se však podíváme na vzor kalibračního listu (příloha A), je patrné, že laboratoř explicitně neuvádí, na jakém základě byl výrok o shodě stanoven. Bylo by vhodné rozšířit výrok o shodě následujícím způsobem: „Kruhoměr Talyrond 365 je ve shodě se specifikovanými MPE při použití rozhodovacího pravidla „*Nebinární přijetí na základě ochranného pásma*“ [18] dle dokumentu ILAC-G8:09/2019.“ Dále by také bylo vhodné doplnit i grafickou interpretaci výsledků – označit výsledek měření, horní a dolní specifikace, horní a dolní meze přijetí, ochranná pásma, interval přijetí a interval odmítnutí. V současné době je používán postup, kdy velikost ochranného pásma je rovna rozšířené nejistotě měření s faktorem rozšíření $k = 2$. Alternativou by bylo použití normy ČSN EN ISO 14253-1: 2018 – Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Zkoušení obrobků a měřidel měřením – Část 1: Pravidla rozhodování o prokazování shody nebo neshody se specifikacemi, které by za příznivých podmínek měření vedlo ke snížení velikosti ochranného pásma, a tedy zvýšení velikosti pole přijetí (intervalu přijetí). Místo koeficientu rozšíření $k = 2$ by se používal výpočet $g_a \cdot u_c \in \langle 1,65; 1,96 \rangle$, kde g_a je faktor ochranného pásma a u_c kombinovaná nejistota

měření (bude podrobně popsána v následující kapitole). Pokud by k této změně došlo, bylo by nutné upravit použité rozhodovací pravidlo.

Stanovisko a interpretaci může vydat pouze vedoucí laboratoře. Děje se tak pouze výjimečně. Záleží pochopitelně na povaze stanoviska či interpretace, ale obvykle si vedoucí vyžádá od zákazníka další dokumenty (např. pokud by se jednalo o stanovisko vhodnosti použití přístroje pro určitou oblast měření, potřebuje vedoucí laboratoře technické výkresy či specifikace měřeného dílu) a na základě nich spolu s uvažováním výsledku kalibrace vydá stanovisko či interpretaci.

Poslední podkapitolou v rámci požadavků na uvádění výsledků jsou „Změny zpráv“. Pokud je třeba vydanou zprávu změnit, upravit či znovu vydat, musí být jakákoliv změna ve zprávě identifikována a popřípadě již ve zprávě uveden důvod změny. Změny v jakékoliv zprávě po jejím vydání se musejí učinit pouze v podobě dalšího dokumentu. Pro případ vydání celé nové zprávy musí dojít k jednoznačné identifikaci včetně odkazu na originál, který nahrazuje [1].

Postup pro případ změn ve zprávách byl již také zmíněn v předchozím textu – konkrétně v podkapitole 3.2.5.

3.2.9 Stížnosti (kap. 7.9)

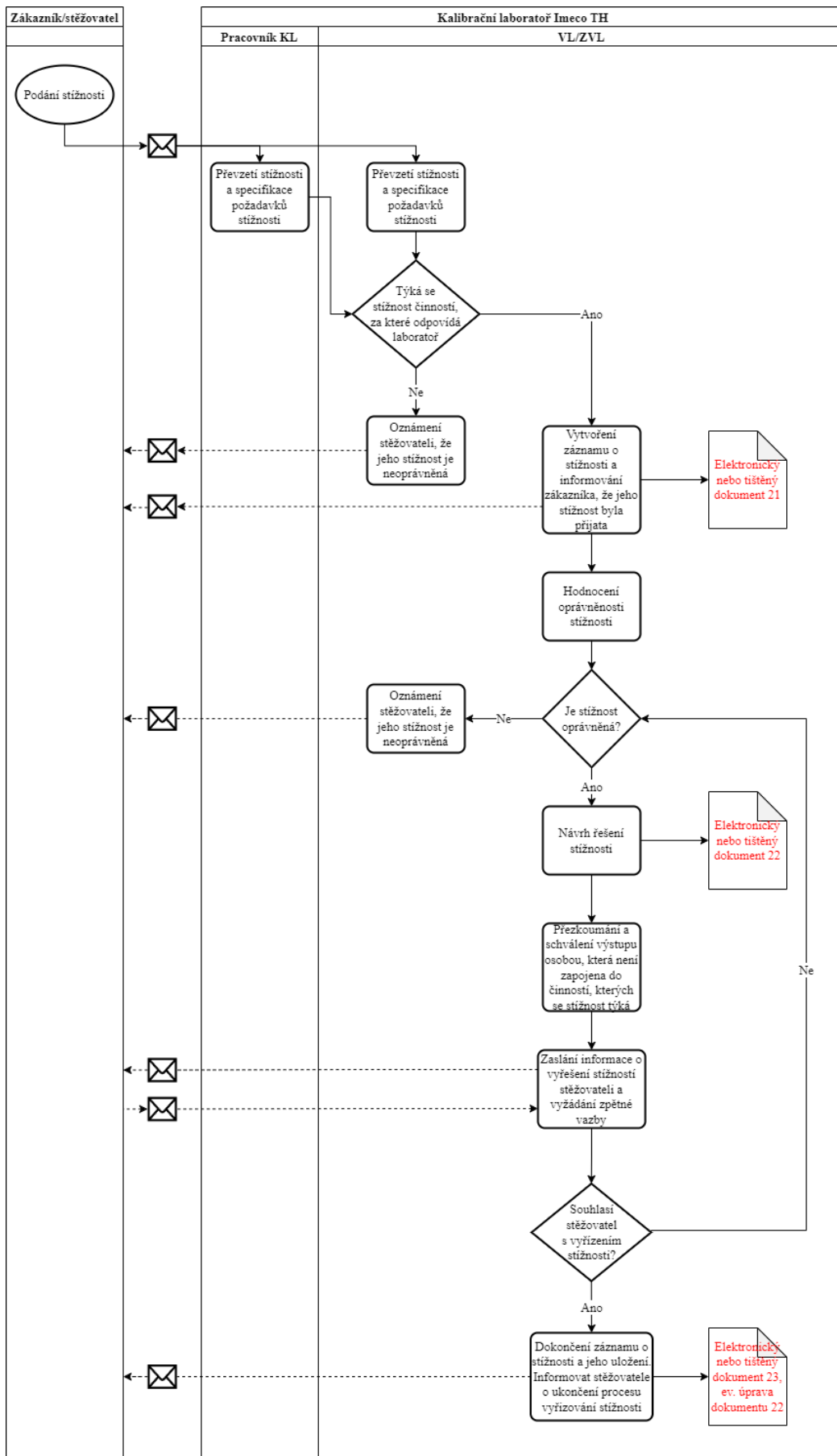
Povinností laboratoře je mít dokumentovaný proces přijímání stížností, jejich hodnocení a rozhodování o nich. Popis procesu musí být na vyžádání k dispozici všem zúčastněným stranám. Po obdržení stížnosti musí laboratoř rozhodnout, zda se týká činností laboratoře, a pokud ano, musí se jí dále zabývat [1].

Proces vyřizování stížnosti musí zahrnovat následující prvky a metody:

- Popis procesu přijímání, zkoumání a oprávněnosti, prošetřování stížnosti a rozhodování o tom, jaké kroky je třeba následně realizovat
- Sledování a zaznamenávání stížností včetně následných opatření
- Zajištění, aby proběhly všechny potřebné kroky [1].

Pokud laboratoř obdrží stížnost, zodpovídá za shromažďování a ověření všech informací nezbytných pro hodnocení oprávněnosti stížnosti. Laboratoř též musí potvrdit, že stížnost obdržela a v průběhu vyřizování informovat stěžovatele o současném stavu. Výstupy ze stížnosti, které jsou určeny pro stěžovatele, musejí být vyřízeny či přezkoumány osobou, která nebyla zapojena do původní činnosti, které se stížnost týkala [1].

Vývojový diagram procesu přijímání, vyřizování stížností a informování o nich můžeme vidět na následujícím obr. 13. Konkrétní postupy pro hodnocení oprávněnosti stížnosti, přezkoumání stížností či lhůty pro vyřizování jsou součástí Související dokumentace SD67 a je na ně též odkazováno z Příručky kvality [6].



Obr. 13 Vývojový diagram procesu "Stížnosti" – vlastní dílo

3.2.10 Neshodná práce (kap. 7.10)

Laboratoř musí mít postup, který uplatní v případě, že jakékoliv hledisko laboratorních činností nebo výsledky činností neodpovídají stanoveným požadavkům. Takový postup zajišťuje, že:

- Jsou určeny odpovědnosti a pravomoci managementu neshodné práce
- Opatření jsou založena na úrovních rizik stanovených laboratoři
- Se zhodnotí význam neshodné práce včetně analýzy dopadu na předchozí výsledky
- Je učiněno rozhodnutí o přijatelnosti neshodné práce
- V případě nutnosti je upozorněn zákazník a předchozí práce anulována
- Je stanovena odpovědnost pro pověření k opětovnému zahájení prací [1].

Laboratoř dále musí uchovávat záznamy o neshodné práci a o přijatých opatřeních. Pokud při hodnocení neshodné práce vyjde najevo, že by se mohla opět vyskytnout, je nutné přijmout opatření proti opakovanému výskytu [1].

Neshodnou práci může zjistit pracovník kalibrační laboratoře či zákazník. Pokud neshodnou práci nahlásí zákazník, často je to formou stížnosti. Postup pro případ neshodné práce byl již v této práci diskutován v rámci podkapitoly 2.5.7 a vývojový diagram procesu je k vidění na obr. 8 a obr. 9. Konkrétní popis k některým činnostem z vývojového diagramu (kritéria pro stanovení typu neshodné práce, hodnocení efektivnosti opatření apod.) je součástí Související dokumentace SD68 a odkaz na tuto dokumentaci je opět uveden i v rámci Příručky kvality [6].

3.2.11 Řízení dat a management informací (kap. 7.11)

Laboratoř musí mít přístup k datům a informacím potřebným k provádění laboratorních činností. Systém managementu informací používaný pro sběr, zpracování, zaznamenávání informací a pro vytváření zpráv musí být před zavedením validován na funkčnost. Kdykoliv dojde ke změně v systému, musí být změna schválena, dokumentována a před zavedením validována [1].

Laboratorní systém managementu informací musí splňovat následující:

- Být chráněn před neoprávněným přístupem
- Být zajištěn proti manipulaci a ztrátě
- Být provozován v prostředí, které je v souladu se stanovenými specifikacemi
- Být udržován pro zajištění integrity dat a informací
- Zahrnovat zaznamenávání selhání systému a odpovídající bezprostřední a nápravná opatření [1].

Všechny výše uvedené body musí splňovat i systém managementu informací poskytovaný externě. Veškeré instrukce, manuály a data týkající se systému managementu informací musejí být pracovníkům snadno dostupné. Výpočty a datové přenosy se musejí systematicky kontrolovat [1].

Kalibrační laboratoř IMECO TH má přístup k datům a informacím potřebným k provádění laboratorních činností. Při činnosti jsou používány komerčně dostupné softwary v rámci definovaného rozsahu použití, které jsou tím pádem považovány za dostatečně validované [1]. Jediný případ, kdy si laboratoř validuje postup sama, je výpočet nejistoty měření. Jak již bylo zmíněno dříve, je používán excelovský soubor, ke kterému má přístup pouze vedoucí laboratoře. V záznamu je proveden ruční výpočet nejistoty měření pro kalibraci

jednotlivých přístrojů a je doloženo, že za použití programu Excel bylo dosaženo stejných výsledků. Tím je použitý postup validovaný.

V současné době je výrazně upřednostňována digitální podoba ukládání dat a informací, avšak s ohledem na přání zákazníků je ponechána i možnost tištěných dokumentů. I v laboratoři samotné jsou všechny dokumenty týkající se managementu k dispozici v tištěné podobě a jsou uloženy v zamčené místnosti. Na vyžádání zaměstnanců poskytne zástupce vedoucího laboratoře přístup do této místnosti. U digitální podoby je ochrana řešena různými přístupovými právy pro jednotlivé zaměstnance.

Kalibrační laboratoř nevyužívá externích dodavatelů pro správu managementu informací [6].

Výpočty a datové přenosy kontroluje zástupce vedoucího laboratoře, nebo jím pověřený pracovník laboratoře. Kontrola probíhá v pravidelném šestiměsíčním intervalu namátkovým výběrem několika vystavených kalibračních listů [6].

4 NÁVRH STANOVENÍ NEJISTOTY MĚŘENÍ PŘI KALIBRACI KRUHOMĚRU TALYROND 365

V této kapitole bude nejprve uveden obecný úvod do teorie nejistot měření včetně požadavků na dokumentaci postupu stanovování nejistot měření, a poté bude vytvořen návrh pro stanovení nejistoty měření při kalibraci kruhoměru Talyrond 365.

Nejistota měření je „*nezáporný parametr charakterizující rozptýlení hodnot veličiny přiřazených k měřené veličině na základě použité informace*“ [2]. Parametrem často bývá směrodatná odchylka nazývaná také standardní nejistota měření [2].

Nejistota měření se skládá z mnoha složek. Tyto složky vyhodnocujeme dvěma způsoby. Způsob A spočívá ve vyhodnocení řady měření statistickými nástroji a nejistota je charakterizována zpravidla směrodatnou odchylkou. Způsob B spočívá také ve vyjádření směrodatné odchylky, avšak výpočet probíhá z funkcí hustoty pravděpodobnosti založených na zkušenostech či jiných informacích [2].

Výchozím dokumentem zpracovávajícím problematiku nejistot měření je JCGM 100: 2008 *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement*, tedy Vyhodnocení naměřených hodnot – Pokyn k vyjadřování nejistoty měření. Velmi často se pro tento dokument používá zkratka GUM [20]. Dokument je velmi obecný, aby pokryl všechny možné oblasti měření. Přímo pro oblast vyjadřování nejistoty měření při kalibraci byly vytvořeny další dokumenty, které jsou v souladu s GUM.

Pro kalibrační laboratoře je zřejmě nejdůležitější dokument EA 4/02 M:2022 – *Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration*, tedy Vyhodnocení nejistoty měření při kalibraci. Účelem dokumentu je harmonizovat vyhodnocení nejistoty měření v rámci EA, a také definovat specifické požadavky na vyjadřování nejistoty měření na kalibračních listech vydávaných akreditovanými laboratořemi. V úvodu dokumentu je zmíněno, že je v souladu s politikou ILAC pro nejistoty při kalibraci, a také s výše zmíněným GUM [21].

4.1 Způsoby vyhodnocení nejistoty měření

Z předchozího textu vyplývá, že nejistotu měření lze vyjádřit dvěma způsoby. Způsob A je založen na stanovení nejistoty statistickou analýzou série pozorování. Standardní nejistota je v takovém případě výběrovou směrodatnou odchylkou průměru vycházející z výpočtu. Způsob B je založen na stanovení nejistoty jiným způsobem než statistickým vyhodnocením série pozorování. Často se jedná o přiřazení vhodné distribuční funkce k vstupní veličině. Výběr vstupních veličin, jakož i jejich distribučních funkcí, vychází ze zkušeností a odborných znalostí metrologa [21].

4.1.1 Vyhodnocení nejistoty měření způsobem A

Způsob A lze použít pouze tehdy, bylo-li za stejných podmínek provedeno několik nezávislých pozorování vstupních veličin. Předpokladem je též pozorovatelné rozptýlení získaných hodnot, tedy měření musí být provedeno s dostatečným rozlišením, aby bylo rozptýlení pozorovatelné [21].

Označme jednu opakovaně naměřenou vstupní veličinu X . Odhad \bar{x} veličiny X na základě n statisticky nezávislých pozorování ($n < 1$) je určen průměrem individuálních naměřených hodnot x_i dle následující rovnice (1) [21].

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Nejistotu měření spojenou s odhadem \bar{x} lze stanovit pomocí výběrového rozptylu $s^2(x)$ hodnot x_i dle rovnice (2) [21].

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

Nejlepším odhadem rozptylu aritmetického průměru je výběrový rozptyl aritmetického průměru $s^2(\bar{x})$ daný rovnicí (3). Druhá odmocnina výběrového rozptylu aritmetického průměru se označuje jako výběrová směrodatná odchylka aritmetického průměru $s(\bar{x})$ a je rovna nejistotě měření vyhodnocené způsobem A $u_A(x)$, jak je uvedeno v rovnici (4) [21].

$$s^2(\bar{x}) = \frac{s^2(x)}{n} \quad (3)$$

$$u_A(x) = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (4)$$

Rovnici (4) lze použít v případě dostatečně vysokého počtu měření ($n \geq 10$). Pokud je počet měření nižší, je potřebné zvážit spolehlivost odhadu standardní nejistoty vyhodnocené způsobem A. V takovém případě se využívá následující korekční tab. 2 pro dosažení spolehlivosti cca. 95,45 %. Hodnoty korekcí vycházejí ze Studentova rozdělení pravděpodobnosti.

Tab. 2 Hodnoty korekčního faktoru K pro různý počet měření n

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K	7	2,3	1,7	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,0

Standardní nejistota vyhodnocená způsobem A je poté stanovena dle rovnice (5).

$$u_A(x) = K \cdot s(\bar{x}) \quad (5)$$

4.1.2 Vyhodnocení nejistoty měření způsobem B

Vyhodnocení nejistoty měření způsobem B spočívá ve vyhodnocení nejistoty vztahující se k odhadu x_j vstupní veličiny X_j jinak než statistickou analýzou. Nejistoty vyhodnocené způsobem B jsou odvozené např. z:

- Dříve provedených měření
- Zkušeností metrologa či obsluhy zařízení
- Údajů od výrobce zařízení (maximálních dovolených chyb MPE)
- Údajů z kalibračních listů (z kalibrace etalonů)
- Údajů převzatých z odborných příruček [21]

Pokud lze pro veličinu X_j předpokládat určité rozdělení pravděpodobnosti, potom se použije jako odhad x_j očekávaná hodnota a pro příslušnou standardní nejistotu $u(x_j)$ odmocnina z rozptylu tohoto rozdělení [21].

Pokud však je k dispozici pro veličinu X_j pouze odhad horní a dolní meze, mezi kterými se může vyskytovat (např. údaje od výrobce, rozmezí teplot, zaokrouhlovací chyby), je nutné pro popis variability použít pravděpodobností rozdělení s konstantní pravděpodobnostní hustotou mezi horní (a_+) a dolní (a_-) mezí, tedy rozdělení rovnoměrné [21].

S předpokladem rovnoměrného rozdělení se využívají následující rovnice (6) pro odhad hodnoty, (7) pro druhou mocninu standardní nejistoty (rozptyl) a za předpokladu, že rozdíl mezi mezemi označíme $2a$, lze rovnici (7) upravit na (8) [21].

$$x_j = \frac{1}{2} (a_+ + a_-) \quad (6)$$

$$u^2(x_j) = \frac{1}{12} (a_+ + a_-)^2 \quad (7)$$

$$u^2(x_j) = \frac{1}{3} a^2 \quad (8)$$

Rovnoměrně rozdělení se používá v případech, kdy o vstupní veličině X_j nejsou známé žádné jiné informace kromě mezí variability. Pokud je však známo, že pravděpodobnost výskytu hodnot veličiny blízko středu intervalu je vyšší než na jeho okrajích, použije se normální či trojúhelníkové rozdělení. Naopak, pokud je pravděpodobnost výskytu vyšší na okrajích, s výhodou lze použít rozdělení U [21].

4.2 Výpočet standardní nejistoty výstupní veličiny

Doposud byly řešeny způsoby pro stanovení nejistot odhadů vstupních veličin. Cílem je však stanovit nejistotu výstupní veličiny y . Druhá mocnina standardní nejistoty odhadu y hodnoty výstupní veličiny je stanovena rovnicí (9). Veličina $u_j(y)$ je příspěvkem ke standardní nejistotě odhadu y výstupní veličiny vyplývající ze standardní nejistoty odhadu x_j vstupní veličiny dle rovnice (10) [21].

$$u^2(y) = \sum_{j=1}^m u_j^2(y) \quad (9)$$

$$u_j(y) = c_j \cdot u(x_j) \quad (10)$$

Veličina c_j je koeficient citlivosti odpovídající odhadu hodnoty x_j vstupní veličiny. Získá se parciální derivací modelové funkce f dle vstupní veličiny X_j pro odhad její vstupní hodnoty x_j . Koeficient citlivosti popisuje, do jaké míry je odhad výstupní hodnoty y ovlivňován změnami v odhadu vstupní veličiny X_j [21]. V dalším textu této práce bude koeficient citlivosti dosazován jako již známé číslo, a nebude probíhat výpočet za použití parciálních derivací. Důvodem je fakt, že bude často roven 1. V jiných případech bude vycházet z doporučení výrobce zařízení či konzultovaného odhadu.

Rovněž bude přijato zjednodušení, že všechny vstupní veličiny jsou nekorelované, a tedy do nejistoty měření nemusí být uvažována jejich kovariance. Toto zjednodušení sice může vést k nesprávnému vyhodnocení standardní nejistoty měřené veličiny, avšak uvažování

korelaci vyžaduje hluboké znalosti o povaze vstupních veličin, které autor práce zatím nemá. Také bylo přihlédnuto k faktu, že i v dokumentech EA, odborné literatuře či normách, se často korelace zanedbávají.

4.3 Rozšířená nejistota měření

Je-li odmocněn výsledek rovnice (9), dostaneme standardní nejistotu $u(y)$ odhadu výstupní veličiny y [21]. Tato nejistota se obvykle označuje jako kombinovaná standardní nejistota u_c . Akreditované kalibrační laboratoře musejí na kalibračních listech uvádět rozšířenou nejistotu měření U , která se vypočítá dle rovnice (11) [21].

$$U = k \cdot u_c \quad (11)$$

Člen k v rovnici (11) se nazývá koeficient rozšíření. Pokud lze usuzovat, že měřená veličina má normální rozdělení a že nejistota odhadu výstupní veličiny je stanovena s dostatečnou spolehlivostí, použije se koeficient rozšíření $k = 2$. Takto stanovená rozšířená nejistota měření odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95 %. Hodnota koeficientu rozšíření $k = 2$ se používá v naprosté většině případů kalibrací [21].

4.4 Obecný postup dokumentace a výpočtu nejistoty měření

Akreditovaná kalibrační laboratoř musí být schopna doložit při akreditačním auditu způsob, jakým vyhodnocuje nejistotu měření. Lze říci, že řazení kapitol v dokumentu EA4/02 M:2022 odpovídá postupu stanovení nejistoty měření. V tomtéž dokumentu je navíc samotný postup uveden v rámci vlastní kapitoly.

Nejprve je nutné matematicky vyjádřit závislost měřené (výstupní) veličiny Y na vstupních veličinách X_j . Poté se identifikují a provedou významné korekce [21].

Následně je nutné sestavit seznam všech zdrojů nejistot a vyhodnotit je způsobem A, nebo způsobem B v souladu se zásadami uvedenými v podkapitolách 4.1.1 a 4.1.2. Dalším krokem je určení koeficientů citlivosti, případně korelace vstupních veličin a následný výpočet kombinované standardní nejistoty měření [21].

Posledním krokem výpočtu je stanovení rozšířené nejistoty měření, která je získána, vynásobením kombinované standardní nejistoty u_c koeficientem rozšíření k [21].

V kalibračním listu musí být uveden úplný výsledek měření. Ten obsahuje odhad hodnoty y měřené veličiny a jemu příslušející rozšířenou nejistotu U , přičemž oba údaje musejí být uvedeny ve stejných jednotkách. Dále musí být uvedeno, jaká hodnota koeficientu rozšíření byla použita [21].

Jednotlivé příspěvky k nejistotě měření je vhodné uvádět do souhrnné tabulky včetně doplňujících údajů (typ rozdělení pravděpodobnosti, maximální meze, jsou-li použity). Ke každému zdroji nejistoty je rovněž vhodné uvést komentář o jeho povaze.

Dále by měla dokumentace obsahovat i mnohé další položky. Jedná se o seznam citovaných dokumentů a norem, prostředky nutné pro provedení kalibrace, rozsah podmínek, za kterých lze kalibraci uskutečnit, postup kalibrace. Všechny výše uvedené položky vycházejí ze vzorových návodů dokumentace celého kalibračního postupu uvedených v dokumentu „Kalibrační postup přístroje pro měření kruhovitosti“ od České metrologické společnosti, z.s. a v normě ČSN EN ISO 14253-2: 2012 – Geometrické specifikace produktu (GPS) – Kontrola

obrobků a měřicího vybavení měřením – Část 2: Návod pro odhad nejistoty měření v GPS, při kalibraci měřicího vybavení a při ověřování výrobku [22], [23].

Norma ČSN EN ISO 14253-2: 2012 je také pochopitelně v souladu s dokumentem GUM. Je uvedeno, že každý úkol měření (tedy i kalibrace) by měl mít stanovenou cílovou nejistotu měření. Následně při vlastním výpočtu nejistoty měření může být provedeno několik iterací, kdy se zpřesňují odhady vstupních veličin, a tím i hodnota nejistoty měření do té doby, než je dosaženo nižší hodnoty než cílové nejistoty měření [23].

Pokud nelze cílové nejistoty dosáhnout, je potřeba upravit úkol měření či hodnotu cílové nejistoty měření [23]. S tím úzce souvisí pojem CMC – *Calibration and Measurement Capability*, tedy Kalibrační a měřicí schopnost. Jedná se o vyjádření rozsahu měření a nejnižší udávané rozšířené nejistoty měření, které je schopna laboratoř při daném kalibračním postupu dosáhnout. Akreditované kalibrační laboratoře jsou povinny uvádět zákazníkům CMC pro všechny obory měřených veličin. Hodnoty obsažené v CMC jsou rovněž odeslány na ČIA.

Je tedy zřejmé, že cílová nejistota měření nesmí být nikdy nižší než nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření v CMC pro daný kalibrační postup. Obvykle se použije cílová nejistota měření vyšší než nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření v CMC, protože nejnižší udávané rozšířené nejistoty měření uvedené v CMC lze dosáhnout za ideálních podmínek měření, a ty nemohou téměř nikdy u zákazníků nastat.

4.5 Systémový rozbor zdrojů nejistot měření při kalibraci ve společnosti IMECO TH

Výsledek měření je zatížen následujícími chybami:

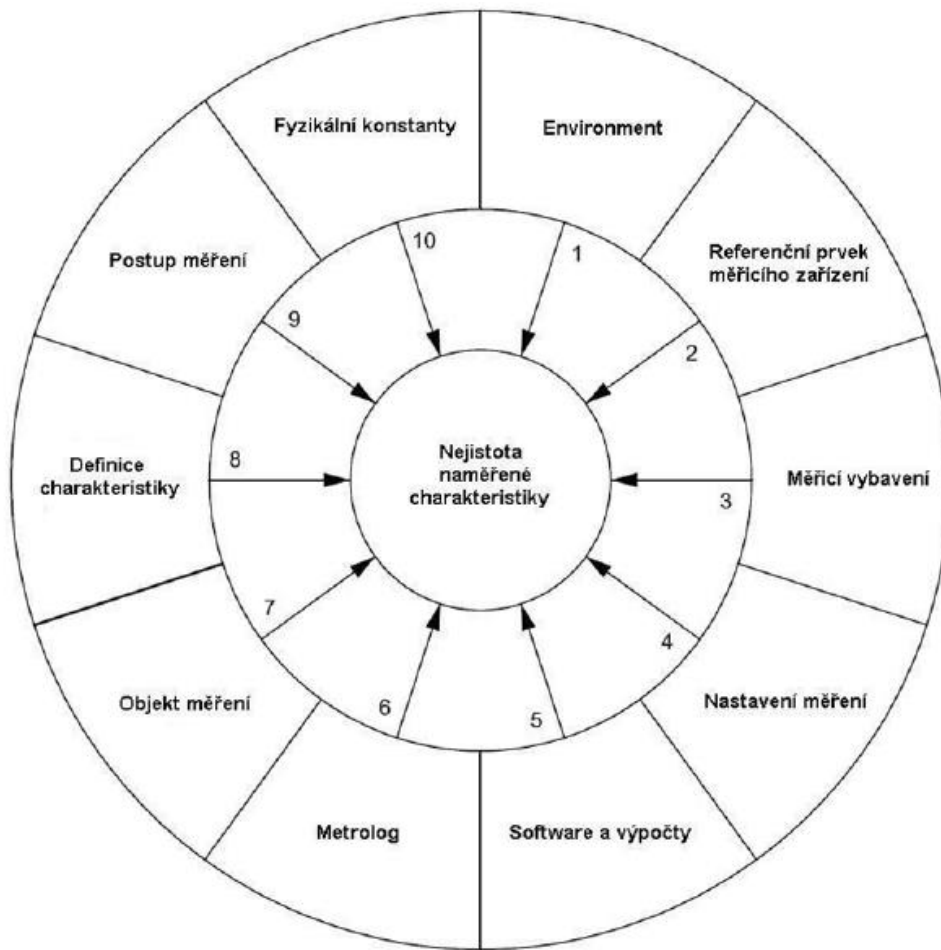
- Systematické – lze u nich určit příčinu, velikost a znaménko (+ nebo -). Pro potlačení jejich vlivu se zavádějí korekce (stejná velikost jako chyba, ale opačné znaménko).
- Náhodné – zpravidla u nich nelze určit velikost a znaménko, lze vymezit jen meze, mezi kterými se může chyba vyskytnout.
- Drift – pomalé změny měřené či deklarované charakteristiky v čase.
- Odlehlé hodnoty – nejčastěji hrubé chyby, které souvisejí buď s lidskou chybou, či např. výrazným ovlivněním měření hlukem. Pokud se vyskytne při měření hrubá chyba, měření by mělo být označeno a hodnota zatížena touto chybou se buď neuvažuje, nebo se měření zopakuje [23].

Každá chyba, kterou není možné korigovat, způsobuje určitou nejistotu měření. Norma ČSN EN ISO 14253-2: 2012 používá systémový přístup k identifikaci možných zdrojů nejistoty měření, který je zobrazen na následujícím obr. 14.

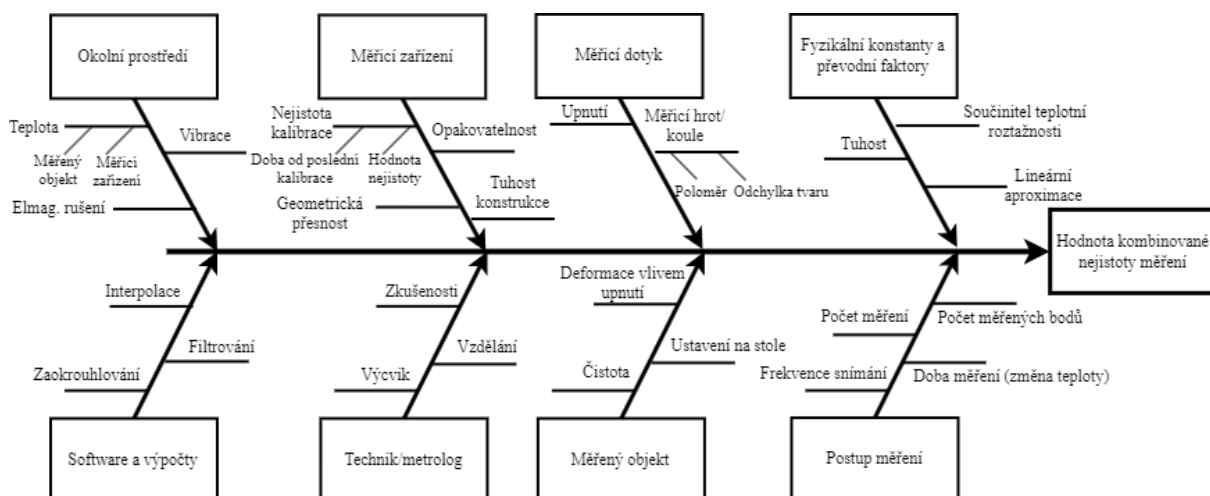
Dále je v normě ČSN EN ISO 14253-2: 2012 uvedeno pro každou z deseti kategorií na obr. 14 mnoho konkrétních možných zdrojů nejistot měření při kalibraci. Tyto seznamy z normy ČSN EN ISO 14253-2: 2012, konzultace s techniky kalibrační laboratoře IMECO TH a uvážení dvou kalibračních metod (pro profiloměry a pro kruhoměry) vedly k vytvoření Ishikawova diagramu, který znázorňuje nejdůležitější zdroje nejistot při kalibracích prováděných kalibrační laboratoří IMECO TH. Diagram je znázorněn na obr. 15.

Přirozeně ne každý zdroj nejistoty měření bude stejně důležitý a mnohé složky nejistoty bude možné zanedbat, jak bude ukázáno v následujících podkapitolách. Pokud je měření odchylek tvaru prováděno za vhodných okolních podmínek a zkušenou obsluhou, lze

předpokládat, že výrazný vliv na nejistotu měření bude mít nejistota použitého etalonu (údaj z kalibračního listu).



Obr. 14 Zdroje nejistoty měření [23]



Obr. 15 Ishikawův diagram pro zdroje nejistot měření – vlastní dílo

4.6 Dokumentovaný postup při kalibraci kruhoměru Talyrond 365

V kalibrační laboratoři IMECO TH není nejistota měření při kalibraci kruhoměru stanovena jako jedna hodnota, ale je vyjádřena zvláště pro těchto 7 oblastí:

- Kalibrace snímacího systému (chyba zvětšení)
- Radiální chyba vřetene
- Axiální chyba vřetene
- Vertikální přímmost
- Rovnoběžnost vertikálního přímovodu s vřetenem
- Horizontální přímmost
- Kolmost horizontálního přímovodu k vřetení

4.6.1 Použité související dokumenty

EA 4/02 M:2022 Vyhodnocení nejistoty měření při kalibraci

Talyrond 365 Specifikace

ČSN EN ISO 12181-1: 2012 – Geometrické specifikace produktu (GPS) – Kruhovitost – Část 1: Slovník a parametry kruhovitosti

ČSN EN ISO 12181-2: 2012 – Geometrické specifikace produktu (GPS) – Kruhovitost – Část 2: Operátory specifikace

ČSN EN ISO 12780-1: 2012 – Geometrické specifikace produktu (GPS) – Přímmost – Část 1: Slovník a parametry přímosti

ČSN EN ISO 12780-2: 2012 – Geometrické specifikace produktu (GPS) – Přímmost – Část 2: Operátory specifikace

ČSN EN ISO 1101: 2020 – Geometrické specifikace produktu (GPS) – Geometrické tolerování – Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení

ČSN EN ISO 14253-2: 2012 – Geometrické specifikace produktu (GPS) – Kontrola obrobků a měřicího vybavení měřením – Část 2: Návod pro odhad nejistoty měření v GPS, při kalibraci měřicího vybavení a při ověřování výrobku

4.6.2 Prostředky potřebné pro provedení kalibrace

Čisticí a hygienické prostředky (líh, utěrka, rukavice)

Konzervační prostředky pro uskladnění etalonů

Notebook s připraveným pracovním výkazem

Manuál k obsluze přístroje

2 digitální teploměry s rozlišením minimálně 0,1 °C a měřicím rozsahem minimálně 15 ÷ 30 °C

Pracovní etalon – rýskový etalon zvětšení 18,67 μm Flick

Pracovní etalon – skleněná hemisféra

Pracovní etalon – kalibrační válec 300 mm

Pracovní etalon – skleněná rovinná plocha 250 mm

4.6.3 Měření a cílová nejistota měření

Úkol měření se skládá následujících dílčích úkolů:

- Měření kruhovitosti rýskového etalonu zvětšení Flick s očekávanou odchylkou kruhovitosti 18,67 μm
- Měření kruhovitosti skleněné hemisféry s očekávanou odchylkou kruhovitosti 0,02 μm
- Měření axiálního házení vřetene s očekávanou hodnotou 0,02 μm

- Měření vertikální přímosti přímovodu s očekávanou odchylkou přímosti < 0,3 $\mu\text{m}/300\text{ mm}$
- Měření rovnoběžnosti vertikálního přímovodu s osou vřetene s očekávanou odchylkou rovnoběžnosti < 0,5 $\mu\text{m}/300\text{ mm}$
- Měření horizontální přímosti přímovodu s očekávanou odchylkou přímosti < 0,25 $\mu\text{m}/200\text{ mm}$
- Měření kolmosti horizontálního přímovodu k vřetení s očekávanou odchylkou kolmosti < 1 $\mu\text{m}/200\text{ mm}$

Cílová nejistota měření byla stanovena na základě maximálních dovolených chyb (MPE) uváděných výrobcem kruhoměru Talyrond 365, ale také na základě předchozích výsledků kalibrací a konzultací s techniky laboratoře. Přehled obou údajů u jednotlivých měřených charakteristik znázorňuje následující tab. 3.

Tab. 3 MPE a cílové nejistoty měření pro jednotlivé charakteristiky kruhoměru Talyrond 365 [24]

Charakteristika	MPE (Specifikace)	Cílová nejistota měření U [μm]
Chyba zvětšení	max. 4 % z etalonové hodnoty	0,14
Radiální chyba vřetene	$\pm (0,040\ \mu\text{m} + 0,0003\ \mu\text{m}/\text{mm})$ výšky nad stolem	0,015
Axiální chyba vřetene	$\pm (0,040\ \mu\text{m} + 0,0003\ \mu\text{m}/\text{mm})$ vzdálenosti od středu	0,015
Vertikální přímost	0,3 $\mu\text{m}/300\text{ mm}$	0,20
Rovnoběžnost vertikálního přímovodu s vřetenem	0,5 $\mu\text{m}/300\text{ mm}$	0,25
Horizontální přímost	0,25 $\mu\text{m}/200\text{ mm}$	0,15
Kolmost horizontálního přímovodu k vřetení	1 $\mu\text{m}/200\text{ mm}$	0,25

4.6.4 Princip, metody, postup a podmínky měření

Princip měření spočívá v mechanickém kontaktu snímacího zařízení s příslušným etalonem. Kontakt je realizován 2mm rubínovou kuličkou. Porovnává se skutečný tvar vůči ideálnímu geometrickému tvaru (kružnici či přímce).

Metod měření je několik v závislosti na právě měřeném parametru. Kruhoměr je vybaven rotačním stolem, na kterém jsou umístěny etalony. Poté se měří kolísání poloměru relativně vůči středu referenční kružnice, axiální pohyb snímače či reálná křivka v porovnání s ideální referenční přímkou.

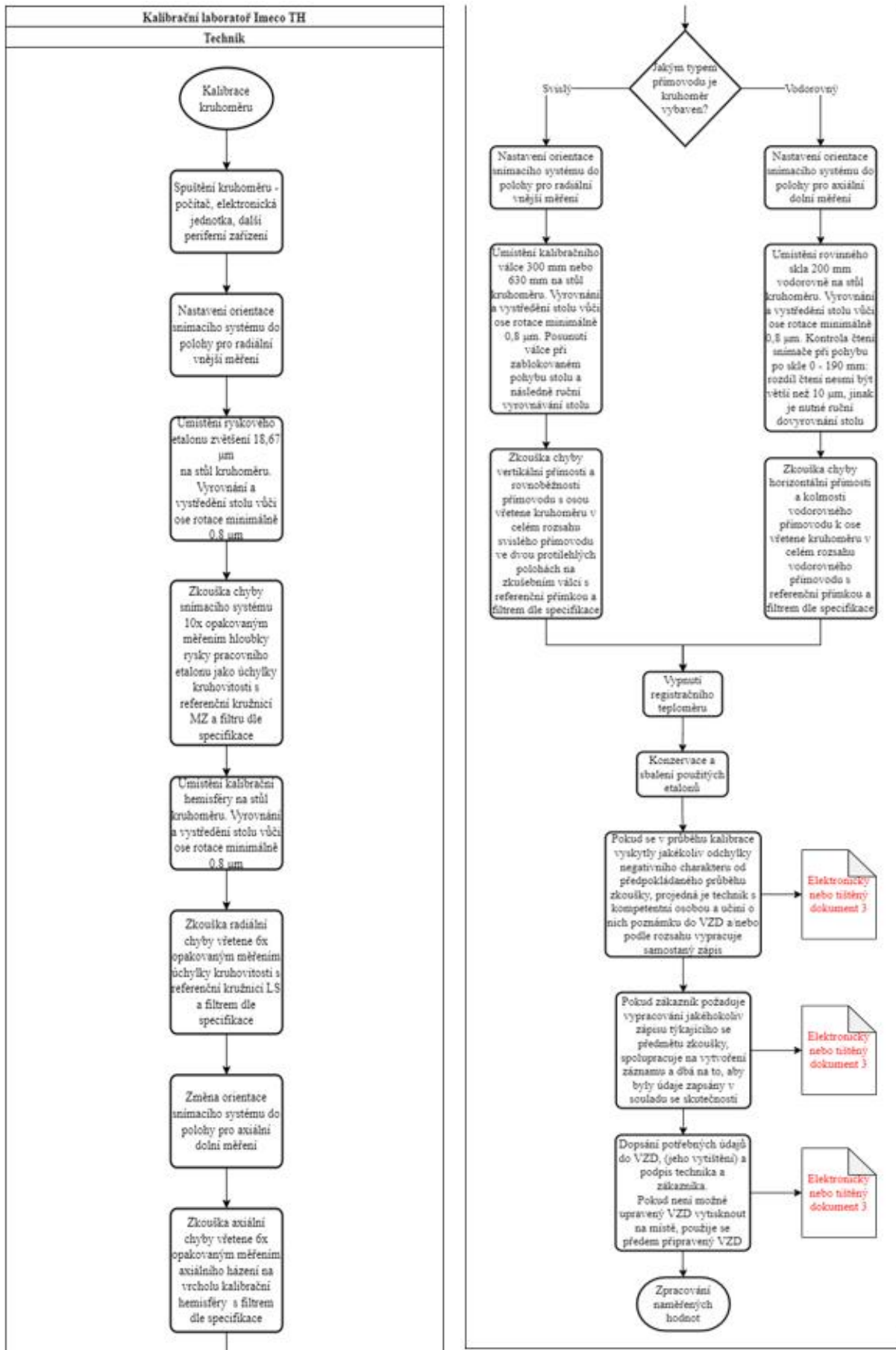
Parametry filtrů, počtu použitých vln na otáčku (UPR), rozsahu snímače pro určitá měření, maximální dovolené odchylky kruhovitosti/přímosti/házení pro jednotlivé kroky kalibrace či volba referenční kružnice vycházejí z doporučení výrobce stroje a jsou k nalezení v dokumentu IMS – *Installation and Maintenance Schedule*, tedy Program instalace a údržby přístroje [25].

Kruhoměr je ovládán joystickem a softwarem z počítače. Návod pro ovládání rozhraní softwaru je k dispozici v dokumentu *Talyrond with Metrology 4.0 – Software user guide*, tedy Talyrond se softwarem Metrology 4.0 – Uživatelská příručka. Software pochopitelně nejen ovládá pohyby kruhoměru, ale také vyhodnocuje naměřené hodnoty, zpracovává grafy z měření, je schopen provést automatické vyrovnání a vystředění otočného stolu a mnohé další úkony [26].

Postup měření je součástí hlavního procesu kalibrace a probíhá dle vývojového diagramu na následujícím obr. 16.

Podmínky pro měření (kalibraci) jsou následující:

- Kruhoměr je řádně označen identifikačním číslem a nejeví žádné vizuální známky poškození.
- Technik má kompetenci pro ovládání přístroje a měření na něm, případně spolupracuje s operátorem stroje.
- Během měření musí být teplota vzduchu i stroje v rozmezí $(21 \pm 3) ^\circ\text{C}$.
- Technik používá v softwaru pouze takové nastavení, které odpovídá doporučením výrobce softwaru a je pro daný úkol nejvíce vhodné.
- Mezní hodnoty pro vyrovnání rotačního stolu s etalonem a vystředění osy rotace etalonu vůči ose rotace vřetene jsou uvedeny v rámci obr. 16.



Obr. 16 Vývojový diagram procesu "Kalibrace kruhoměru" – vlastní dílo

4.6.5 Složky nejistoty při kalibraci snímacího systému

V souladu s dokumentem EA 4/02 M:2022 byla měřená veličina vyjádřena v závislosti na vstupních veličinách dle následující rovnice (12).

$$Z_x = Z_E + \delta Z_{RE} + c_1 \cdot \delta Z_H + c_2 \cdot \delta Z_{VZ} + \delta Z_U + \delta Z_{EX} + \delta Z_R + \delta Z_S + \delta Z_K + \delta Z_T + \delta Z_D + \delta Z_O + \delta Z_M \quad (12)$$

Jednotlivé členy rovnice budou v následujícím textu stručně popsány. Tam, kde to bude vhodné, budou uvedeny meze kolísání a typ rozdělení pravděpodobnosti.

Z_x → měřená (neznámá) hodnota zvětšení vyjádřená jako odchylka kruhovitosti.

Z_E → referenční etalon. Kalibrační list uvádí hodnotu zvětšení vyjádřenou jako odchylku kruhovitosti ($18,67 \pm 0,12$) μm při koeficientu rozšíření $k = 2$, a tedy $U = 0,12 \mu\text{m}$. Pozn.: ve všech dalších případech použití normálního rozdělení v této práci bude uvažována hodnota koeficientu rozšíření $k = 2$, protože tato hodnota je standardně používána a je dostatečně konzervativní.

δZ_{RE} → rozlišení snímače. Při použití rozsahu snímače $\pm 0,2 \text{ mm}$ je mez rozlišení rovna $\pm 0,006 \mu\text{m}$ a je uvažováno rovnoměrné rozdělení.

δZ_H → korekce na hladinu hluku (akustický i elektromagnetický). Může se projevovat superponováním parazitního signálu na přenášený signál ze snímače. Běžná hodnota hluku při měření je (55 ± 2) dB a je uvažováno normální rozdělení, což při uvážení hodnoty hlukové citlivosti $c_1 = 0,002 \mu\text{m}/\text{dB}$ dává ovlivnění signálu maximálně $\pm 0,008 \mu\text{m}$. Předpokládá se, že během měření je hodnota hluku 55 dB, a tedy korekce je rovna 0.

δZ_{VZ} → korekce na nestálou hodnotu tlaku vzduchu. Drobné netěsnosti systému či nekonstantní chod kompresoru způsobují výkyvy tlaku v systému v rozmezí $\pm 100 \text{ Pa}$, což ovlivňuje stabilitu otočného stolu. Vzhledem k hodnotě tlakové citlivosti $c_2 = 3 \cdot 10^{-5} \mu\text{m}/\text{Pa}$ je maximální chyba způsobená vlivem změn tlaku $\pm 0,006 \mu\text{m}$ a předpokládá se normální rozdělení. Podobně jako v předchozím případě se uvažuje stálá hodnota tlaku během celého měření a hodnota korekce je opět rovna 0.

δZ_U → korekce na chybu uzavření. Chyba uzavření se v naměřeném profilu projeví jako strmý (téměř kolmý) skok mezi dvěma sousedními body. Může být způsobena místní změnou teploty při jednom měření, prouděním vzduchu, vibracemi, vniknutím nečistoty mezi snímač a etalon (souvisí s prašností prostředí), poruchou ložisek či jinými příčinami. Velikost chyby může být značná (řádově až jednotky μm), ale protože je na profilu dobře viditelná, v případě jejího výskytu se měření opakuje. Výkyvy podmínek jsou však přítomny téměř při každém měření, a tedy chyba uzavření je také přítomna téměř vždy. Maximální chyba je stanovena na $\pm 0,015 \mu\text{m}$ při předpokladu rozdělení U.

δZ_{EX} → korekce na vystředění. Probíhá automatické vystředění na hodnotu lepší než $0,8 \mu\text{m}$. V měřeném místě v určité výšce nad stolem bude sice hodnota horší, nicméně vliv na výsledek měření je zcela zanedbatelný (chyba $< 0,001 \mu\text{m}$).

δZ_R → korekce na vyrovnání. Probíhá automatické vyrovnání na hodnotu lepší než $0,8 \mu\text{m}$. Vliv na výsledek měření je zcela zanedbatelný (chyba $< 0,001 \mu\text{m}$).

δZ_S → vliv použitého softwaru. Zohledňuje vliv zaokrouhlování, interpolace, počtu snímaných bodů. Velikost vzniklé chyby je maximálně $\pm 0,005 \mu\text{m}$ při předpokladu rovnoměrného rozdělení.

δZ_K → korekce na vlastnosti rubínového dotyku. Dotyk je realizován jako 2mm rubínová koule. Rubín je velmi tvrdý, avšak časem může dojít k opotřebení a změně tvaru. Navíc i původní tvar nebude nikdy přesná koule. Opakovaným používáním dvojice etalon – dotyk může vzniknout „ideální stopa“, která ovlivňuje měření – to je však v případě kalibrační laboratoře IMECO TH nepravděpodobné, protože etalon je použit pro různé přístroje. Velikost chyby vlivem nevhodného dotyku je tedy stanovena pouze na $\pm 0,008 \mu\text{m}$ a je předpokládáno normální rozdělení.

δZ_T → korekce na vliv obsluhujícího technika. Všichni technici jsou proškoleni, ze začátku pracovního poměru pracují pod dohledem. Vliv technika je v mnohých případech pozitivní a nevnáší do měření žádnou zásadní chybu.

δZ_D → změna hodnoty kruhovitosti etalonu od poslední kalibrace vlivem driftu. Obecně se předpokládá nulový drift. Pokud by k němu došlo, jednalo by se při kalibračním intervalu 3 let maximálně o jednotky či desítky pikometrů, a tedy vliv na měření je zcela marginální.

δZ_O → nejistota měření kruhovitosti vyhodnocená způsobem A.

δZ_M → korekce na rozdíl mezi jmenovitou a naměřenou hodnotou etalonu vyjádřenou jako aritmetický průměr naměřených hodnot. Maximální chyba korekce je $\pm 0,01 \mu\text{m}$ a předpokládá se normální rozdělení.

Vzorový výpočet nejistoty měření

Při měření přesnosti snímacího systému bylo provedeno 10 měření odchylky kruhovitosti na ryskovém etalonu zvětšení Flick, jejichž hodnoty jsou zaznamenány v následující tab. 4. Součástí tabulky je také přehled nastavených parametrů měření.

Tab. 4 Naměřené hodnoty odchylky kruhovitosti na etalonu Flick a parametry měření

Měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RONt [μm]	18,54	18,56	18,55	18,53	18,55	18,56	18,55	18,55	18,53	18,53
Filtr: Gauss; 1-500 UPR										
Referenční kružnice: minimální zóny (MZC)										
Základna: vřeteno										

Dosazením do rovnice (1) byl získán následující výsledek:

$$Z_x = \frac{18,54 + 18,56 + 18,55 + 18,53 + 18,55 + 18,56 + 18,55 + 18,55 + 18,53 + 18,53}{10} \doteq 18,55 \mu\text{m}$$

Poté dalším dosazením do rovnice (4) byla vypočítána nejistota měření vyhodnocená způsobem A δZ_O :

$$\delta Z_O = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (z_i - z_x)^2}{10 \cdot (10 - 1)}} \doteq 0,004 \mu\text{m}$$

Následně došlo ke stanovení velikosti jednotlivých příspěvků k nejistotě $u_j(y)$ vzhledem k mezím kolísání vstupních veličin X_j , typům rozdělení pravděpodobnosti a koeficientům citlivosti c_j . Souhrnně jsou tyto příspěvky stanoveny v následující tab. 5.

Postup vyplnění hodnot v tab. 5 na příkladu prvního řádku je následující:

- V kalibračním listu je uvedena hodnota odchylky kruhovitosti 18,67 μm . Tento údaj je tedy odhadem velikosti vstupní veličiny.
- Dále z kalibračního listu plyne, že rozšířená nejistota údaje z kalibrace etalonu je $\pm 0,12 \mu\text{m}$ s koeficientem rozšíření $k = 2$. Z tohoto údaje je zřejmé, že bylo uvažováno normální rozdělení, kterému odpovídá faktor rozdělení 0,5. Pozn.: faktor rozdělení slouží pro určení hodnoty standardní nejistoty $u(x_j)$. V podkapitole 4.1.2 bylo uvedeno, že tato hodnota se získává jako odmocnina z rozptylu příslušného rozdělení pravděpodobnosti. Důvodem použití náhradního řešení je vyhnout se odmocninám ve výpočtu. S pojmem faktor rozdělení pracuje i norma ČSN EN ISO 14253-2: 2012. Ekvivalenty pro rozdělení pravděpodobnosti použitá v této práci jsou následující:
 - Normální rozdělení: $\frac{\text{mezní hodnota chyby}}{\sqrt{4}} \cong \text{mezní hodnota chyby} \cdot 0,5$
 - Rovnoměrné rozdělení: $\frac{\text{mezní hodnota chyby}}{\sqrt{3}} \cong \text{mezní hodnota chyby} \cdot 0,6$
 - Rozdělení U: $\frac{\text{mezní hodnota chyby}}{\sqrt{2}} \cong \text{mezní hodnota chyby} \cdot 0,7$
- Hodnota standardní nejistoty odhadu $u(x_j)$ byla stanovena vynásobením mezní hodnoty z intervalu, ve kterém se může veličina X_j vyskytovat, hodnotou faktoru rozdělení. Tedy pro tento případ: $\pm 0,12 \mu\text{m} \cdot 0,5 = \pm 0,06 \mu\text{m}$.
- Posledním krokem je dosazení do rovnice (10), které je v tomto případě následující:

$$u_{Z_E}(y) = c_{Z_E} \cdot u(Z_E) = 1 \cdot 0,06 \mu\text{m} = 0,06 \mu\text{m}$$

Tab. 5 Příspěvky k nejistotě měření při zkoušce přesnosti snímače

Veličina X_j	Odhad x_j	Standardní nejistota $u(x_j)$	Typ rozdělení pravděpodobnosti	Koeficient citlivosti c_j	Faktor rozdělení	Příspěvek k nejistotě $u_j(y)$ [μm]
Z_E	18,67 μm	0,06 μm	normální	1	0,5	0,0600
δZ_{RE}	0,00 μm	0,0036 μm	rovnoměrné	1	0,6	0,0036
δZ_H	0,00 dB	1 dB	normální	0,002 $\mu\text{m}/\text{dB}$	0,5	0,0020
δZ_{VZ}	0,00 Pa	50 Pa	normální	$3 \cdot 10^{-5} \mu\text{m}/\text{Pa}$	0,5	0,0015
δZ_U	0,00 μm	0,0105 μm	U	1	0,7	0,0105
δZ_{EX}	0,00 μm	< 0,001 μm	-	-	-	0
δZ_R	0,00 μm	< 0,001 μm	-	-	-	0
δZ_S	0,00 μm	0,003 μm	rovnoměrné	1	0,6	0,0030

δZ_K	0,00 μm	0,004 μm	normální	1	0,5	0,0040
δZ_T	0,00 μm	< 0,001 μm	-	-	-	0
δZ_D	0,00 μm	\ll 0,001 μm	-	-	-	0
δZ_O	0,00 μm	0,004 μm	-	-	-	0,0040
δZ_M	- 0,12 μm	0,005 μm	normální	1	0,5	0,0050
Z_x	18,55 μm	-	-	-	-	0,0616

Po stanovení jednotlivých příspěvků ke standardní nejistotě odhadu výstupní veličiny $u_j(y)$ je nutné určit hodnotu standardní nejistoty výstupní veličiny, čili kombinovanou standardní nejistotu u_c . Tuto hodnotu je možné získat dosazením do rovnice (9) a následným odmocněním:

$$u_c = u_{z_x}(y) = \sqrt{(0,06^2 + 0,0036^2 + 0,008^2 + 0,005^2 + 0,0105^2 + 0,003^2 + 0,004^2 + 0,004^2 + 0,005^2) \mu\text{m}^2} \doteq 0,062 \mu\text{m}$$

Posledním krokem je stanovení rozšířené nejistoty měření dosazením do rovnice (11), přičemž se předpokládá standardní hodnota koeficientu rozšíření $k = 2$:

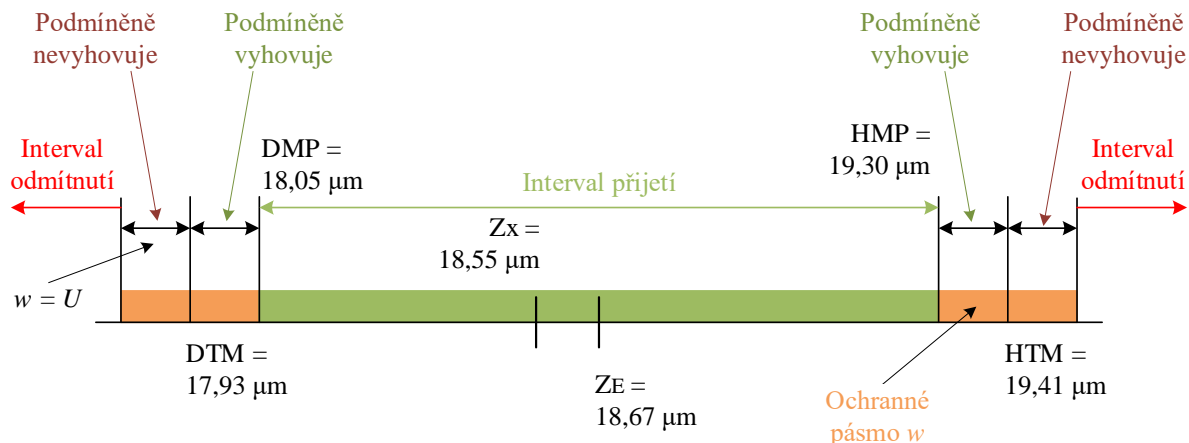
$$U_{z_x} = 2 \cdot 0,062 \mu\text{m} \doteq \mathbf{0,12 \mu\text{m}}$$

Úplný výsledek měření je tedy následující:

$$\mathbf{Z_x = (18,55 \pm 0,12) \mu\text{m}}$$

Tento výsledek je v souladu se specifikací, protože povolená chyba (MPE) od pravé hodnoty jsou 4 % z konvenčně pravé (etalonové) hodnoty. 4 % z 18,67 μm jsou přibližně 0,747 μm , a tedy výsledek měření musí ležet v intervalu (18,05; 19,30) μm – meze intervalu již byly upraveny vzhledem k velikosti rozšířené nejistoty měření. Rovněž bylo dosaženo nižší než stanovené cílové nejistoty měření (0,12 < 0,14).

Výše uvedený výrok o shodě byl učiněn na základě rozhodovacího pravidla „Nebinární přijetí na základě ochranného pásma“ [18] dle dokumentu ILAC-G8:09/2019. Grafická interpretace výsledku měření je znázorněna na obr. 17 v souladu s požadavky ILAC-G8:09/2019.

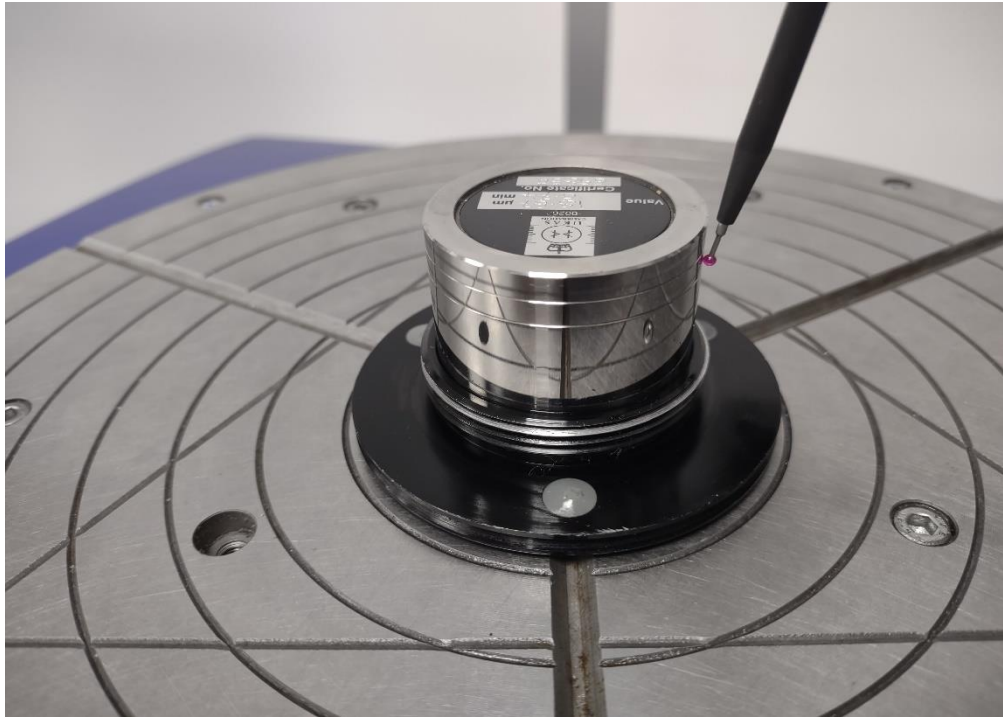


Obr. 17 Grafická interpretace výsledku kalibrace snímacího systému – vlastní dílo

Legenda k obr. 17 je následující: w = ochranné pásmo (při využití nebinárního přijetí na základě ochranného pásma odpovídá velikost ochranného pásma velikosti rozšířené nejistoty měření U), DTM = dolní toleranční mez, DMP = dolní mez přijetí, HMP = horní mez přijetí, HTM = horní toleranční mez (vzhledem ke specifikaci požadavků na charakteristiky kruhoměru ve formě MPE odpovídá HTM právě kladné hodnotě MPE). Na dalších obrázcích znázorňujících grafickou interpretaci výsledků měření v této práci bude použita stejná terminologie, a rovněž bude vždy uplatněno stejné rozhodovací pravidlo jako na obr. 17.

Z porovnání velikosti standardní rozšířené nejistoty měření a velikosti jednotlivých příspěvků k nejistotě lze konstatovat, že zcela dominantním příspěvkem je údaj z kalibrace etalonu (téměř 95 % - stanoveno jako poměr druhé mocniny příspěvku od údaje z kalibrace etalonu $u_{Z_E}^2$ 0,0036 μm^2 vůči hodnotě součtu druhých mocnin příspěvků k nejistotě $u_{Z_x}^2$ 0,003795 μm^2). Všechny ostatní příspěvky by mohly být zanedbány, avšak je vhodné uchovat i příspěvek standardní nejistoty vyhodnocené způsobem A. Jeho hodnota je sice velmi nízká, ale měl by být sledován vždy. Případný větší rozptyl hodnot může poukázat na problémy snímače, etalonu, vyrovnání či vystředění stolu (možné poruchy ložisek/elektromotorů).

Ukázka z kalibrace snímacího systému je na obr. 18.



Obr. 18 Ryskový etalon zvětšení Flick – vlastní dílo

4.6.6 Složky nejistoty při stanovení radiální chyby vřetene

V souladu s dokumentem EA 4/02 M:2022 byla měřená veličina vyjádřena v závislosti na vstupních veličinách dle následující rovnice (13).

$$E_{Rad} = E_x + \delta E_E + \delta E_U + \delta E_T + \delta E_D + \delta E_{Orad} + \delta E_K, \quad (13)$$

kde E_{Rad} → měřená radiální chyba vřetene vyjádřená jako odchylka kruhovitosti.

E_x → hodnota radiální chyby vřetene naměřená na etalonu (skleněné polokouli) vyjádřená jako odchylka kruhovitosti. Hodnota je určena jako aritmetický průměr z naměřených hodnot.

δE_E → údaj z kalibračního listu skleněné polokoule. Kalibrační list uvádí hodnotu rozšířené nejistoty kalibrace $\pm 0,005 \mu\text{m}$ při koeficientu rozšíření $k = 2$, a tedy $U = 0,005 \mu\text{m}$.

δE_U → korekce na chybu uzavření. Chyba uzavření již byla popsána dříve. Lze říci, že stanovení radiální chyby vřetene souvisí nejvíce právě s chybou uzavření. Nejdříve probíhá opět vyrovnání a vystředění etalonu s osou rotace stolu. Poté se změří kruhovitost na skleněné polokouli, kdy se musí začít v určitém bodě na polokouli. Toto první měření se následně nahraje do softwaru a slouží jako korekční mapa. Při dalších měřeních se zvolí v softwaru možnost měření se zapnutými korekcemi. Tím pádem jsou mnohé zdroje chyb popsané v předchozí podkapitole 4.6.5 eliminovány a ověřuje se schopnost stroje dosáhnout co nejbližších výsledků, které jsou v korekční mapě. Maximální velikost chyby uzavření je stanovena na $\pm 0,010 \mu\text{m}$ při předpokladu rozdělení U.

δE_K → vliv nedokonalého bodu měření. Hodnota rozšířené nejistoty kalibrace je stanovena za podmínek, že měření je započato v bodě, který je označen červenou tečkou, následně je učiněn zdvih v ose z (osa vřetene) o 3 mm. Ramínko se snímačem má být vykloněné zhruba o 15° vůči ose vřetene. Pokud jsou dodrženy tyto náležitosti, je výchozí bod měření přibližně

identický s bodem, který byl použit během kalibrace skleněné polokoule, a ovlivnění výsledku je tím pádem zcela zanedbatelné.

$\delta E_T, \delta E_D, \delta E_{Orad}$ mají s ohledem na stejné indexy i stejné významy jako v podkapitole 4.6.5.

Při stanovení radiální chyby vřetene bylo provedeno 6 měření odchylky kruhovitosti na skleněné polokouli, jejichž hodnoty jsou zaznamenány v následující tab. 6. Součástí tabulky je také přehled nastavených parametrů měření.

Tab. 6 Naměřené hodnoty odchylky kruhovitosti na skleněné polokouli a parametry měření

Měření	1	2	3	4	5	6
RONt [μm]	0,0171	0,0202	0,0219	0,0190	0,0203	0,0202
Filtr: Gauss; 1-50 UPR Referenční kružnice: nejmenších čtverců (LSC) Základna: vřeteno						

Dosazením do rovnice (1) byl získán následující výsledek:

$$E_x \doteq 0,0198 \mu\text{m}$$

Poté dalším dosazením do rovnic (4) a (5) byla vypočítána nejistota měření vyhodnocená způsobem A δE_{Orad} :

$$\delta E_{Orad} \doteq 0,00085 \mu\text{m}$$

Dalším krokem je vytvoření přehledové tab. 7 s jednotlivými příspěvky k nejistotě měření při kalibraci.

Tab. 7 Příspěvky k nejistotě měření při stanovení radiální chyby vřetene

Veličina X_j	Odhad x_j	Standardní nejistota $u(x_j)$	Typ rozdělení pravděpodobnosti	Koeficient citlivosti c_j	Faktor rozdělení	Příspěvek k nejistotě $u_j(y)$ [μm]
E_x	0,0198 μm	-	-	-	-	-
δE_E	0,00 μm	0,0025 μm	normální	1	0,5	0,0025
δE_U	0,00 μm	0,007 μm	U	1	0,7	0,0070
δE_T	0,00 μm	< 0,001 μm	-	-	-	0
δE_D	0,00 μm	\ll 0,001 μm	-	-	-	0
δE_O	0,00 μm	0,00085 μm	-	-	-	0,0009

δE_K	0,00 μm	< 0,001 μm	-	-	-	0
E_{Rad}	0,020 μm	-	-	-	-	0,0075

Dosažením příspěvků k nejistotě do rovnice (9) a následným odmocněním byla stanovena hodnota rozšířené nejistoty měření:

$$u_c = u_{E_{Rad}}(y) \doteq 0,0075 \mu\text{m}$$

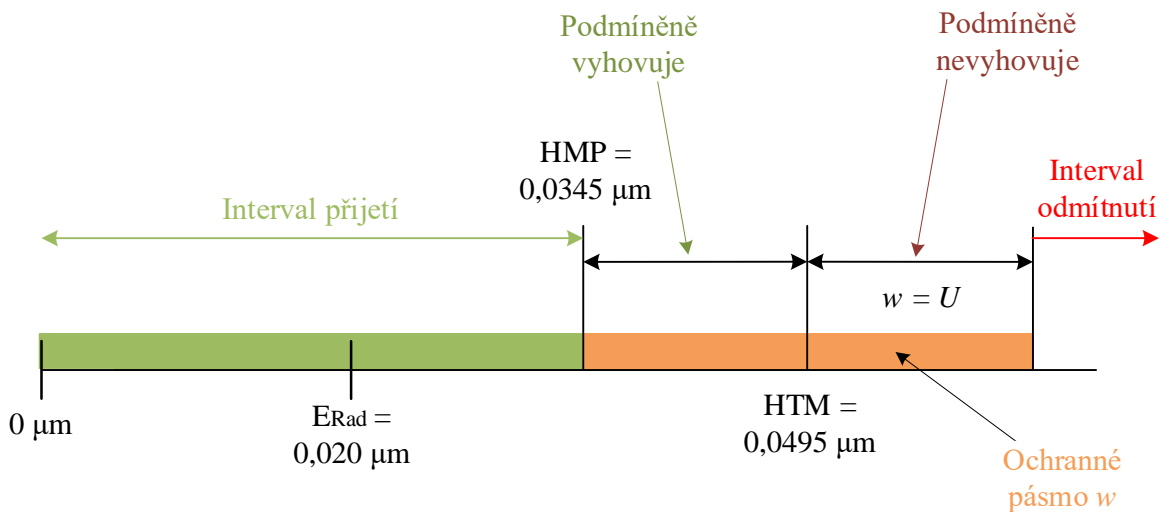
Posledním krokem je stanovení rozšířené nejistoty měření dosažením do rovnice (11), přičemž se předpokládá standardní hodnota koeficientu rozšíření $k = 2$:

$$U_{E_{Rad}} = 2 \cdot 0,0075 \mu\text{m} = \mathbf{0,015 \mu\text{m}}$$

Úplný výsledek měření je tedy následující:

$$\mathbf{E_{Rad} = (0,020 \pm 0,015) \mu\text{m}}$$

Měření probíhalo ve výšce 31,8 mm nad stolem, a tedy $MPE = (0,040 + 0,0003 \cdot 31,8) \mu\text{m} \doteq 0,0495 \mu\text{m}$. Velikost radiální chyby vřetene je v souladu se specifikací ($0,020 < 0,0345$) a při měření bylo dosaženo cílové nejistoty měření. Grafická interpretace výsledku měření je na obr. 19.

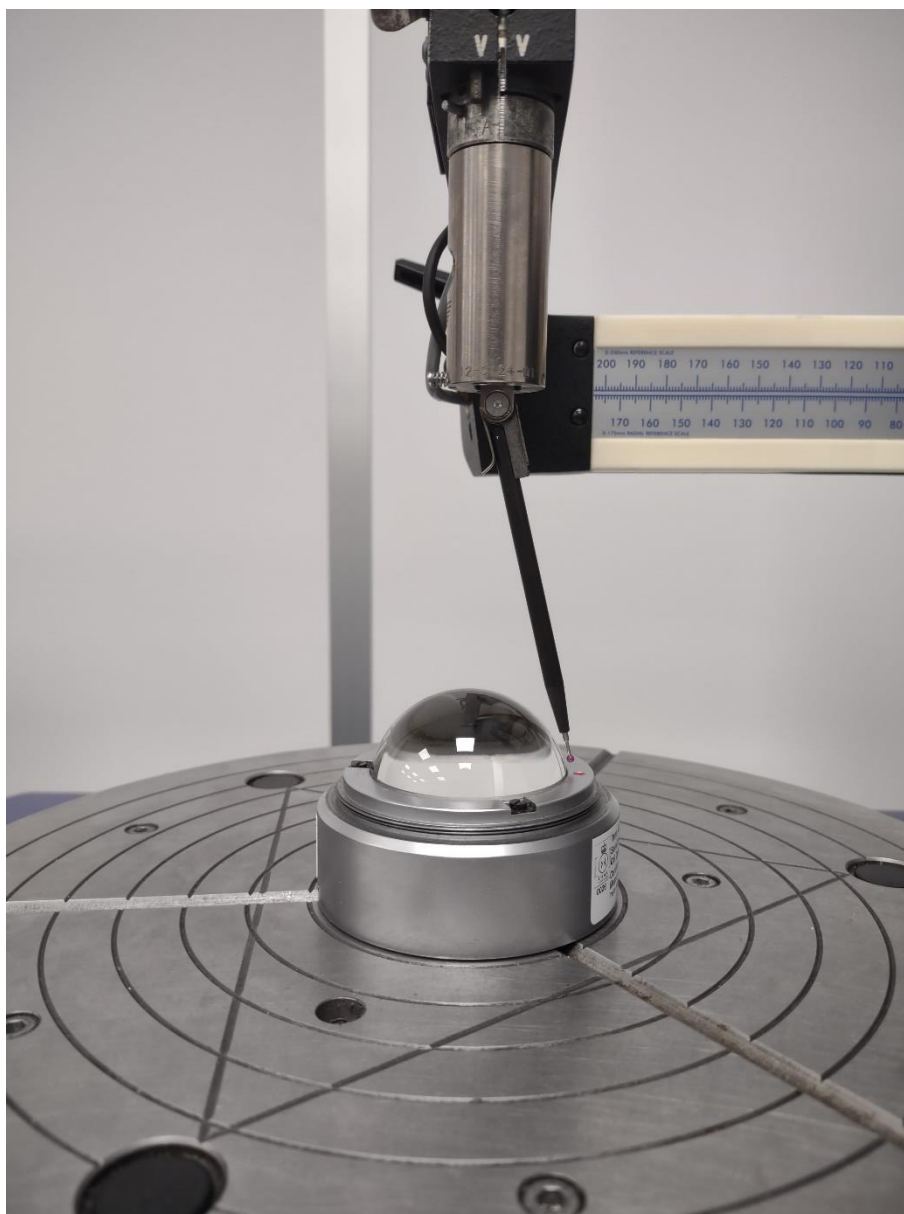


Obr. 19 Grafická interpretace výsledku měření radiální chyby vřetene – vlastní dílo

Na obr. 19 je znázorněna pouze horní toleranční mez a horní mez přijetí. Důvodem je fakt, že ideální hodnota jakékoliv geometrické tolerance je 0, a nemá tedy smysl omezovat interval přijetí i z druhé strany (záporné hodnoty).

Dominantním příspěvkem nejistoty měření je v tomto případě korekce na chybu uzavření (více než 87 %). Avšak vzhledem k relativně malému počtu zdrojů nejistot mohou být zachovány pro budoucí výpočty i příspěvky od ostatních zdrojů nejistot.

Ukázka z měření při stanovení radiální chyby vřetene je na obr. 20.



Obr. 20 Skleněná hemisféra – stanovení radiální chyby vřetene – vlastní dílo

4.6.7 Složky nejistoty při stanovení axiální chyby vřetene

V souladu s dokumentem EA 4/02 M:2022 byla měřená veličina vyjádřena v závislosti na vstupních veličinách dle následující rovnice (14).

$$\begin{aligned}
 E_{Ax} = E_{xx} + \delta E_{RE} + \delta E_H + \delta E_{VZ} + \delta E_{U2} + \delta E_{EX} + \delta E_R + \delta E_S \\
 + \delta E_T + \delta E_P + \delta E_{Oax},
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

kde E_{Ax} → měřená axiální chyba vřetene vyjádřená jako axiální házení.

E_{xx} → hodnota axiální chyby vřetene naměřená na etalonu (skleněné polokouli) vyjádřená jako axiální házení. Hodnota je určena jako aritmetický průměr z naměřených hodnot.

δE_{RE} → rozlišení snímače. Identický význam jako v podkapitole 4.6.5.

δE_H → korekce na hladinu hluku (akustický i elektromagnetický). Identický význam jako v podkapitole 4.6.5.

δE_{VZ} → korekce na nestálou hodnotu tlaku vzduchu. Identický význam jako v podkapitole 4.6.5.

δE_{U2} → korekce na chybu uzavření. Pokračuje se v měření při stejných podmínkách jako v případě stanovení radiální chyby vřetene, jen se změní poloha snímače. Proto je opět maximální velikost chyby uzavření stanovena na $\pm 0,010 \mu\text{m}$ při předpokladu rozdělení U.

δE_{EX} → korekce na vystředění. Identický význam jako v podkapitole 4.6.5.

δE_R → korekce na vyrovnání. Identický význam jako v podkapitole 4.6.5.

δE_S → vliv použitého softwaru. Identický význam jako v podkapitole 4.6.5.

δE_T → korekce na vliv obsluhujícího technika. Identický význam jako v podkapitole 4.6.5.

δE_P → vliv polohy snímače. Když bude ramínko snímače málo vysunuté, nelze dosáhnout vrcholu polokoule. Zahrnuje v sobě i vliv faktu, že dosáhnout přesné polohy na vrcholu polokoule je obtížné – musí se provádět ručně velmi jemnými pohyby v okolí vrcholu. Maximální velikost chyby je stanovena na $\pm 0,005 \mu\text{m}$ při předpokladu rovnoměrného rozdělení.

δE_{Oax} → nejistota měření házení vyhodnocená způsobem A.

V tomto případě není uvažován vliv použitého etalonu, protože pro měření házení slouží vrchol polokoule pouze jako referenční či opěrný bod.

Při stanovení axiální chyby vřetene bylo provedeno 6 měření axiálního házení na vrcholu skleněné polokoule, jejichž hodnoty jsou zaznamenány v následující tab. 8. Součástí tabulky je také přehled nastavených parametrů měření.

Tab. 8 Naměřené hodnoty axiálního házení na skleněné polokouli a parametry měření

Měření	1	2	3	4	5	6
Házení [μm]	0,0215	0,0213	0,0200	0,0219	0,0226	0,0185
Filtr: Gauss; 1-50 UPR						
Referenční rovina: nejmenších čtverců (LSPL)						
Základna: vřeteno						

Dosazením do rovnice (1) byl získán následující výsledek:

$$E_{xx} \doteq 0,0210 \mu\text{m}$$

Poté dalším dosazením do rovnic (4) a (5) byla vypočítána nejistota měření vyhodnocená způsobem A δE_{Oax} :

$$\delta E_{Oax} \doteq 0,00079 \mu\text{m}$$

Dalším krokem je vytvoření přehledové tab. 9 s jednotlivými příspěvky k nejistotě měření při kalibraci.

Tab. 9 Příspěvky k nejistotě měření při stanovení axiální chyby vřetene

Veličina X_j	Odhad x_j	Standardní nejistota $u(x_j)$	Typ rozdělení pravděpodobnosti	Koeficient citlivosti c_j	Faktor rozdělení	Příspěvek k nejistotě $u_j(y)$ [μm]
E_{xx}	0,0210 μm	-	-	-	-	-
δE_{RE}	0,00 μm	0,0036 μm	rovnoměrné	1	0,6	0,0036
δE_H	0,00 dB	1 dB	normální	0,002 $\mu\text{m}/\text{dB}$	0,5	0,0020
δE_{VZ}	0,00 Pa	50 Pa	normální	$3 \cdot 10^{-5}$ $\mu\text{m}/\text{Pa}$	0,5	0,0015
δE_{U2}	0,00 μm	0,007 μm	U	1	0,7	0,0070
δE_{EX}	0,00 μm	< 0,001 μm	-	-	-	0
δE_R	0,00 μm	< 0,001 μm	-	-	-	0
δE_S	0,00 μm	0,003 μm	rovnoměrné	1	0,6	0,0030
δE_T	0,00 μm	< 0,001 μm	-	-	-	0
δE_P	0,00 μm	0,003 μm	rovnoměrné	1	0,6	0,0030
δE_{Oax}	0,00 μm	0,00079 μm	-	-	-	0,0008
E_{Ax}	0,021 μm	-	-	-	-	0,0093

Dosazením příspěvků k nejistotě do rovnice (9) a následným odmocněním byla stanovena hodnota rozšířené nejistoty měření:

$$u_c = u_{E_{Ax}}(y) \doteq 0,0093 \mu\text{m}$$

Posledním krokem je stanovení rozšířené nejistoty měření dosazením do rovnice (11), přičemž se předpokládá standardní hodnota koeficientu rozšíření $k = 2$:

$$U_{E_{Ax}} = 2 \cdot 0,0093 \mu\text{m} \doteq \mathbf{0,019 \mu\text{m}}$$

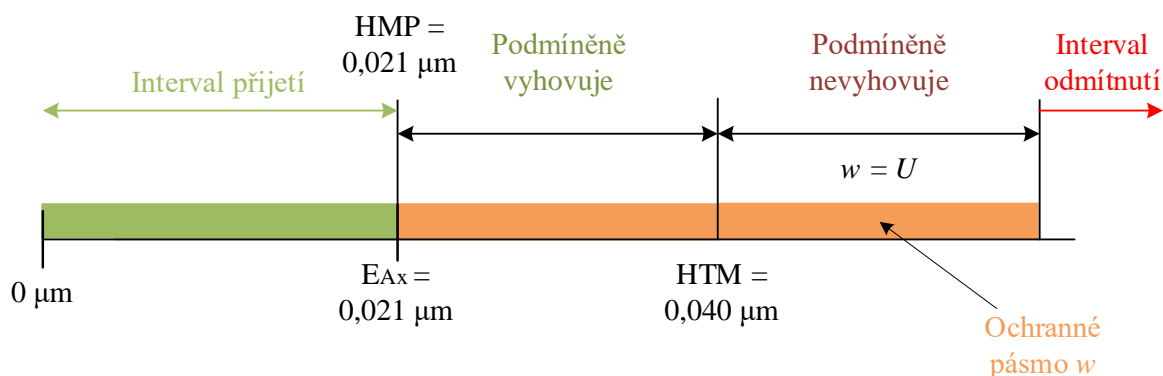
Úplný výsledek měření je tedy následující:

$$\mathbf{E_{Ax} = (0,021 \pm 0,019) \mu\text{m}}$$

Vzhledem ke snaze najít přesný vrchol polokoule se uvažuje, že měření probíhá přesně uprostřed stolu, a tedy $MPE = 0,040 \mu\text{m}$. Velikost axiální chyby vřetene přesně odpovídá horní mezi přijetí ($0,021 = 0,021$). Jelikož je pro rozhodnutí o náležení do intervalu přijetí požadována

ostrá nerovnost, nelze prohlásit, že velikost axiální chyby je v souladu se specifikací. Navíc při měření nebylo dosaženo cílové nejistoty měření ($0,019 > 0,015$).

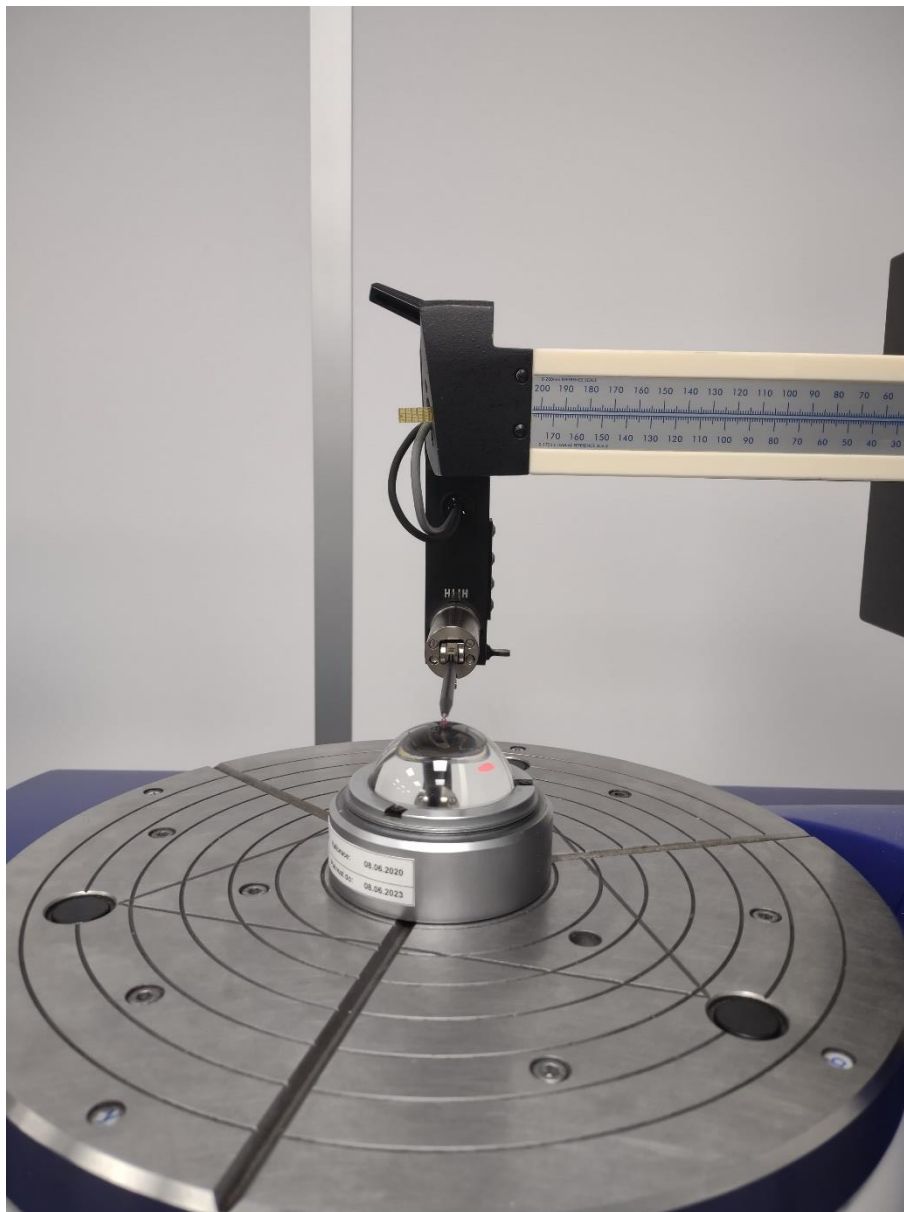
Bylo by tedy nutné provést druhou iteraci výpočtu nejistoty měření a zpřesnit odhady jednotlivých příspěvků. Při snížení velikosti rozšířené nejistoty měření by již velikost axiální chyby byla v souladu se specifikací. Grafická interpretace výsledku měření je na obr. 21.



Obr. 21 Grafická interpretace výsledku měření axiální chyby vřetene – vlastní dílo

Největším příspěvkem k nejistotě měření axiální chyby vřetene je chyba uzavření (cca. 56 %), dalšími významnými příspěvky jsou rozlišení snímače (cca. 15 %), vliv softwaru a vliv polohy snímače (každý cca. 10 %). Ostatní příspěvky by mohly být zanedbány.

Ukázka z měření při stanovení axiální chyby vřetene je na obr. 22.



Obr. 22 Skleněná hemisféra – stanovení axiální chyby vřetene – vlastní dílo

4.6.8 Složky nejistoty při stanovení vertikální přímosti

V souladu s dokumentem EA 4/02 M:2022 byla měřená veličina vyjádřena v závislosti na vstupních veličinách dle následující rovnice (15).

$$P_{Ver} = P_x + \delta P_E + \delta P_{RU} + \delta P_U + \delta P_S + \delta P_D + \delta P_{Over}, \quad (15)$$

kde P_{Ver} → měřená přímost vertikálního přímovodu.

P_x → hodnota vertikální přímosti sloupu (přímovodu) naměřená na etalonu (ocelovém válci). Hodnota je určena jako aritmetický průměr z naměřených hodnot.

δP_E → údaj z kalibračního listu ocelového válce. Kalibrační list uvádí hodnotu rozšířené nejistoty kalibrace $\pm 0,10 \mu\text{m}$ při koeficientu rozšíření $k = 2$, a tedy $U = 0,10 \mu\text{m}$.

δP_{RU} → korekce na ruční dovyrovnání. Válec je nejprve vystředěn a vyrovnán s osou vřetene automaticky. Poté je však nutné posunout ho, aby mohlo měření začít ve středovém otvoru

stolu. Začátek měření pod úrovní roviny stolu je nutný vzhledem k aplikaci cut-off na naměřené hodnoty (snímač potřebuje určitý rozjezd než začne vlastní měření). Při dovyrovnání válce se snímačem popojíždí po dvou plochách válce umístěných vůči sobě o 90 °. Technik musí ručně zadávat hodnoty posunů či náklonů stolu v určitých rovinách tak, aby velikost změny hodnoty kontaktu po celé délce válce byla maximálně 2 μm, přičemž hodnota kontaktu 0 μm je zadána přibližně ve středu válce. Maximální velikost chyby ručního dovyrovnání je stanovena na ± 0,10 μm a uvažuje se rovnoměrně rozdělení. Součástí této chyby je i vliv technika.

δP_U → korekce na chybu uzavření. Chyba uzavření již byla popsána dříve. Vzhledem k relativně dlouhé dráze měření lze však předpokládat v tomto případě vyšší hodnoty chyby. Maximální velikost chyby uzavření je stanovena na ± 0,080 μm při předpokladu rozdělení U.

δP_S → vliv použitého softwaru. Identický význam jako v podkapitole 4.6.5. Navíc zde slouží i pro porovnávání vlastních měření (jejichž hodnoty se píší do výkazu) vůči prvnímu měření, které slouží pro zadání korekcí.

δP_D → změna hodnoty přímosti etalonu od poslední kalibrace vlivem driftu. Identický význam jako v podkapitole 4.6.5.

δP_{Over} → nejistota měření přímosti vyhodnocená způsobem A.

Při stanovení vertikální přímosti sloupu byla provedena 3 měření přímosti na ocelovém válci, jejichž hodnoty jsou zaznamenány v následující tab. 10. Součástí tabulky je také přehled nastavených parametrů měření.

Tab. 10 Naměřené hodnoty přímosti na ocelovém válci a parametry měření

Měření	1	2	3
STRt [μm]	0,0317	0,0391	0,0338
S – Filtr (λ_c): Gauss; 8 mm Referenční přímky: minimální zóny (MZ) Základna: vřetenno			

Dosazením do rovnice (1) byl získán následující výsledek:

$$P_x \doteq 0,0349 \mu\text{m}$$

Poté dalším dosazením do rovnic (4) a (5) byla vypočítána nejistota měření vyhodnocená způsobem A δP_{Over} :

$$\delta P_{Over} \doteq 0,00506 \mu\text{m}$$

Dalším krokem je vytvoření přehledové tab. 11 s jednotlivými příspěvky k nejistotě měření při kalibraci.

Tab. 11 Příspěvky k nejistotě měření při stanovení vertikální přímosti

Veličina X_j	Odhad x_j	Standardní nejistota $u(x_j)$	Typ rozdělení pravděpodobnosti	Koeficient citlivosti c_j	Faktor rozdělení	Příspěvek k nejistotě $u_j(y)$ [μm]
P_x	0,0349 μm	-	-	-	-	-
δP_E	0,00 μm	0,05 μm	normální	1	0,5	0,0500
δP_{RU}	0,00 μm	0,06 μm	rovnoměrné	1	0,6	0,0600
δP_U	0,00 μm	0,056 μm	U	1	0,7	0,0560
δP_S	0,00 μm	0,003 μm	rovnoměrné	1	0,6	0,0030
δP_D	0,00 μm	$\ll 0,001$ μm	-	-	-	0
δP_{Over}	0,00 μm	0,00506 μm	-	-	-	0,0051
P_{Ver}	0,035 μm	-	-	-	-	0,096

Dosazením příspěvků k nejistotě do rovnice (9) a následným odmocněním byla stanovena hodnota rozšířené nejistoty měření:

$$u_c = u_{P_{Ver}}(y) \doteq 0,096 \mu\text{m}$$

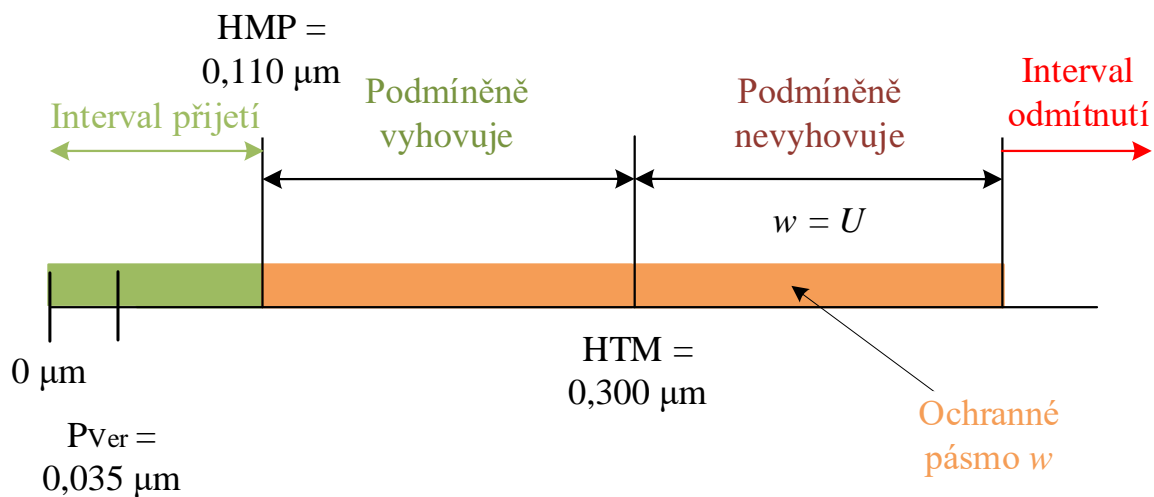
Posledním krokem je stanovení rozšířené nejistoty měření dosazením do rovnice (11), přičemž se předpokládá standardní hodnota koeficientu rozšíření $k = 2$:

$$U_{P_{Ver}} = 2 \cdot 0,096 \mu\text{m} = \mathbf{0,192 \mu\text{m}}$$

Úplný výsledek měření je tedy následující:

$$\mathbf{P_{Ver} = (0,035 \pm 0,190) \mu\text{m}}$$

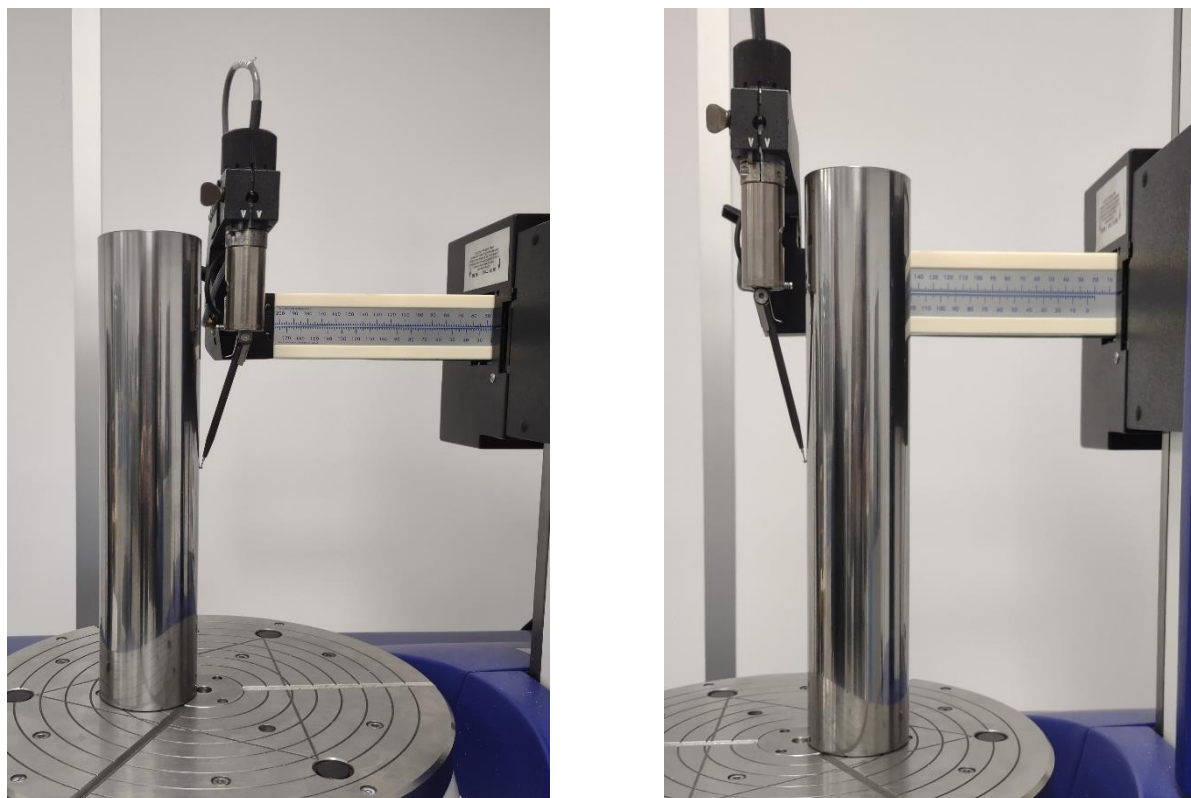
Vertikální přímost je v souladu se specifikací ($0,035 < 0,11$). Při měření navíc bylo dosaženo nižší rozšířené nejistoty měření, než je stanovená cílová nejistota měření ($0,192 < 0,2$). Grafická interpretace výsledku měření je na obr. 23.



Obr. 23 Grafická interpretace výsledku měření vertikální přímosti – vlastní dílo

Největším příspěvkem k nejistotě měření vertikální přímosti je ruční dovyrovnání ocelového válce (téměř 39 %). Následuje příspěvek od chyby uzavření (téměř 34 %) a od použitého etalonu (téměř 27 %). Další příspěvky jsou zcela zanedbatelné.

Ukázka z měření vertikální přímosti je na obr. 24.



Obr. 24 Ocelový válec – měření vertikální přímosti ve dvou protilehlých polohách – vlastní dílo

4.6.9 Složky nejistoty při stanovení rovnoběžnosti vertikálního přímovodu s vřetenem

Rovnoběžnost vertikálního přímovodu s vřetenem se stanovuje ze stejné sady měření jako vertikální přímost. V softwaru se nastaví jako referenční profil jeden z profilů přímosti. Vůči němu se porovnává odpovídající profil přímosti změřený na protilehlé straně válce. Je důležité porovnávat odpovídající měření (první s prvním, druhé s druhým, třetí s třetím) s ohledem na směr snímání při měření. Jako referenční základna je zvolena osa vřetene stolu.

V souladu s dokumentem EA 4/02 M:2022 byla měřená veličina vyjádřena v závislosti na vstupních veličinách dle následující rovnice (16).

$$R_{VPV} = R_x + \delta R_{RU} + \delta R_U + \delta R_S + \delta R_O + \delta R_{Tuh}, \quad (16)$$

kde R_{VPV} → měřená rovnoběžnost vertikálního přímovodu s vřetenem.

R_x → hodnota rovnoběžnosti vertikálního přímovodu s vřetenem stanovená při měření na etalonu (ocelovém válci). Hodnota je určena jako aritmetický průměr z naměřených hodnot.

δR_{RU} → korekce na ruční dovyrovnání. Identický význam jako v podkapitole 4.6.8.

δR_U → korekce na chybu uzavření. Identický význam jako v podkapitole 4.6.8.

δR_S → vliv použitého softwaru. Identický význam jako v podkapitole 4.6.8.

δR_O → nejistota měření rovnoběžnosti vyhodnocená způsobem A.

δR_{Tuh} → korekce na vliv nedokonalé tuhosti vřetene. Nedokonalá tuhost vřetene způsobuje určité naklonění osy vřetene vůči ideálnímu stavu. Vzhledem k výšce válce (300 mm) může v jeho horních polohách již být osa vřetene poněkud odchýlena od ideální osy. Maximální

velikost chyby způsobené nedokonalou tuhostí vřetene je $\pm 0,15 \mu\text{m}$ a je předpokládáno rovnoměrné rozdělení.

V tomto případě není uvažován vliv použitého etalonu, protože rovnoběžnost se vyhodnocuje ze dvou odpovídajících měření na ocelovém válci. Případné chyby způsobené etalonem jsou tedy eliminovány právě díky dvojici měření

Při stanovení rovnoběžnosti vertikálního přímovodu s vřetenem byly provedeny 3 sady měření přímosti na ocelovém válci. Následně došlo s pomocí softwaru ke stanovení rovnoběžnosti, jejíž hodnoty jsou zaznamenány v následující tab. 12. Součástí tabulky je také přehled nastavených parametrů měření.

Tab. 12 Naměřené hodnoty rovnoběžnosti a parametry měření

Měření	1	2	3
PAR [μm]	0,0665	0,0770	0,0887
S – Filtr (λ_c): Gauss; 8 mm Referenční přímka: nejmenších čtverců (LS) Základna: vřeteno			

Dosazením do rovnice (1) byl získán následující výsledek:

$$R_x \doteq 0,0774 \mu\text{m}$$

Poté dalším dosazením do rovnic (4) a (5) byla získána nejistota měření vyhodnocená způsobem A δR_O :

$$\delta R_O \doteq 0,01475 \mu\text{m}$$

Dalším krokem je vytvoření přehledové tab. 13 s jednotlivými příspěvky k nejistotě měření při kalibraci.

Tab. 13 Příspěvky k nejistotě měření při stanovení rovnoběžnosti vert. přímovodu s vřetenem

Veličina X_j	Odhad x_j	Standardní nejistota $u(x_j)$	Typ rozdělení pravděpodobnosti	Koeficient citlivosti c_j	Faktor rozdělení	Příspěvek k nejistotě $u_j(y)$ [μm]
R_x	0,0774 μm	-	-	-	-	-
δR_{RU}	0,00 μm	0,06 μm	rovnoměrné	1	0,6	0,0600
δR_U	0,00 μm	0,056 μm	U	1	0,7	0,0560
δR_S	0,00 μm	0,003 μm	rovnoměrné	1	0,6	0,0030
δR_O	0,00 μm	0,01475 μm	-	-	-	0,0148

δR_{Tuh}	0,00 μm	0,09 μm	rovnoměrné	1	0,6	0,0900
R_{VPV}	0,077 μm	-	-	-	-	0,123

Dosažením příspěvků k nejistotě do rovnice (9) a následným odmocněním byla stanovena hodnota rozšířené nejistoty měření:

$$u_c = u_{R_{VPV}}(y) \doteq 0,123 \mu\text{m}$$

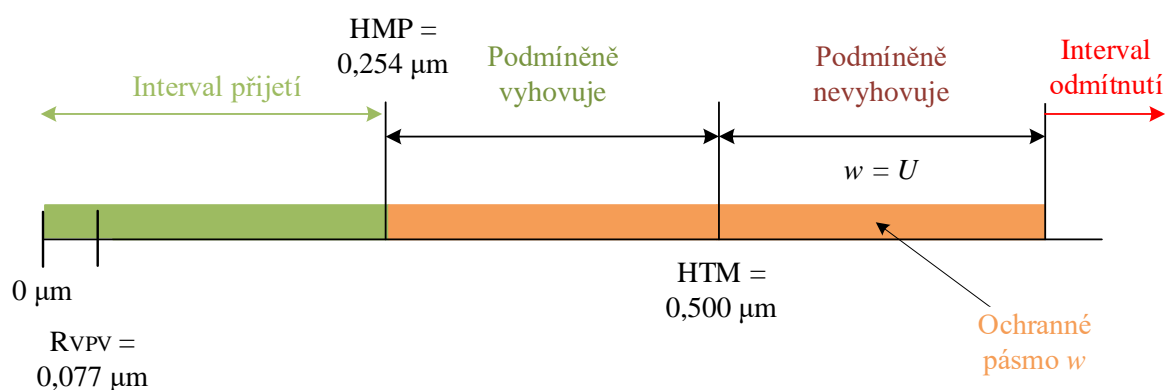
Posledním krokem je stanovení rozšířené nejistoty měření dosažením do rovnice (11), přičemž se předpokládá standardní hodnota koeficientu rozšíření $k = 2$:

$$U_{R_{VPV}} = 2 \cdot 0,123 \mu\text{m} = \mathbf{0,246 \mu\text{m}}$$

Úplný výsledek měření je tedy následující:

$$\mathbf{R_{VPV} = (0,077 \pm 0,246) \mu\text{m}}$$

Rovnoběžnost vertikálního přímovodu s vřetenem je v souladu se specifikací ($0,077 < 0,254$). Při měření bylo navíc dosaženo nižší rozšířené nejistoty měření, než je stanovená cílová nejistota měření ($0,246 < 0,25$). Grafická interpretace výsledku měření je na obr. 25.



Obr. 25 Grafická interpretace výsledku měření rovnoběžnosti vertikálního přímovodu s vřetenem – vlastní dílo

Největším příspěvkem k nejistotě měření rovnoběžnosti vertikálního přímovodu s vřetenem je nedokonalá tuhost vřetene (téměř 54 %). Dalšími významnými příspěvky jsou ruční dovyrovnání (téměř 24 %) a chyba uzavření (téměř 21 %). Další příspěvky jsou zanedbatelné.

Jak již bylo zmíněno, měření rovnoběžnosti vertikálního přímovodu s vřetenem probíhá současně s měřením vertikální přímosti sloupu, a proto je ukázka z měření opět k vidění na obr. 24.

4.6.10 Složky nejistoty při stanovení horizontální přímosti

V souladu s dokumentem EA 4/02 M:2022 byla měřená veličina vyjádřena v závislosti na vstupních veličinách dle následující rovnice (17).

$$P_{Hor} = P_{xx} + \delta P_{E2} + \delta P_U + \delta P_S + \delta P_D + \delta P_{Ohor}, \quad (17)$$

kde P_{Hor} → měřená přímota horizontálního přímovodu.

P_{xx} → hodnota horizontální přímoty sloupu (přímovodu) naměřená na etalonu (skleněné rovinné ploše). Hodnota je určena jako aritmetický průměr z naměřených hodnot.

δP_{E2} → údaj z kalibračního listu skleněné rovinné plochy. Kalibrační list uvádí hodnotu rozšířené nejistoty kalibrace $\pm 0,10 \mu\text{m}$ při koeficientu rozšíření $k = 2$, a tedy $U = 0,10 \mu\text{m}$.

δP_U → korekce na chybu uzavření. Identický význam jako v podkapitole 4.6.8

δP_S → vliv použitého softwaru. Identický význam jako v podkapitole 4.6.5. Navíc zde slouží i pro porovnávání vlastních měření (jejichž hodnoty se píšou do výkazu) vůči prvnímu měření, které slouží pro zadání korekcí.

δP_D → změna hodnoty přímoty etalonu od poslední kalibrace vlivem driftu. Identický význam jako v podkapitole 4.6.5.

δP_{Ohor} → nejistota měření přímoty vyhodnocená způsobem A.

Při stanovení horizontální přímoty sloupu byla provedena 3 měření přímoty na skleněné rovinné ploše, jejichž hodnoty jsou zaznamenány v následující tab. 14. Součástí tabulky je také přehled nastavených parametrů měření.

Tab. 14 Naměřené hodnoty přímoty na skleněné rovinné ploše a parametry měření

Měření	1	2	3
STRt [μm]	0,0540	0,0619	0,0576
S – Filtr (λ_c): Gauss; 8 mm Referenční přímky: minimální zóny (MZ) Základna: vřeteno			

Dosazením do rovnice (1) byl získán následující výsledek:

$$P_{xx} \doteq 0,0578 \mu\text{m}$$

Poté dalším dosazením do rovnic (4) a (5) byla získána nejistota měření vyhodnocená způsobem A δP_{Ohor} :

$$\delta P_{Ohor} \doteq 0,00525 \mu\text{m}$$

Dalším krokem je vytvoření přehledové tab. 15 s jednotlivými příspěvky k nejistotě měření při kalibraci.

Tab. 15 Příspěvky k nejistotě měření při stanovení horizontální přímoty

Veličina X_j	Odhad x_j	Standardní nejistota $u(x_j)$	Typ rozdělení pravděpodobnosti	Koeficient citlivosti c_j	Faktor rozdělení	Příspěvek k nejistotě $u_j(y)$ [μm]
P_{xx}	0,0578 μm	-	-	-	-	-
δP_{E2}	0,00 μm	0,05 μm	normální	1	0,5	0,0500

δP_U	0,00 μm	0,056 μm	U	1	0,7	0,0560
δP_S	0,00 μm	0,003 μm	rovnoměrné	1	0,6	0,0030
δP_D	0,00 μm	$\ll 0,001$ μm	-	-	-	0
δP_{Ohor}	0,00 μm	0,00525 μm	-	-	-	0,0053
P_{Hor}	0,058 μm	-	-	-	-	0,075

Dosazením příspěvků k nejistotě do rovnice (9) a následným odmocněním byla stanovena hodnota rozšířené nejistoty měření:

$$u_c = u_{P_{Hor}}(y) \doteq 0,075 \mu\text{m}$$

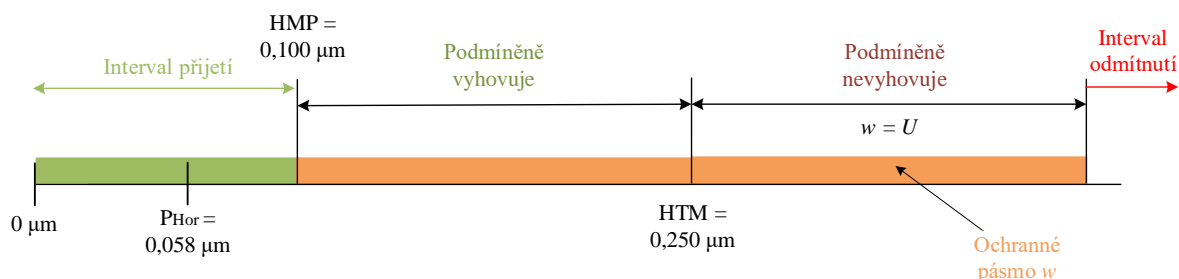
Posledním krokem je stanovení rozšířené nejistoty měření dosazením do rovnice (11), přičemž se předpokládá standardní hodnota koeficientu rozšíření $k = 2$:

$$U_{P_{Hor}} = 2 \cdot 0,075 \mu\text{m} = \mathbf{0,15 \mu\text{m}}$$

Úplný výsledek měření je tedy následující:

$$\mathbf{P_{Hor} = (0,058 \pm 0,150) \mu\text{m}}$$

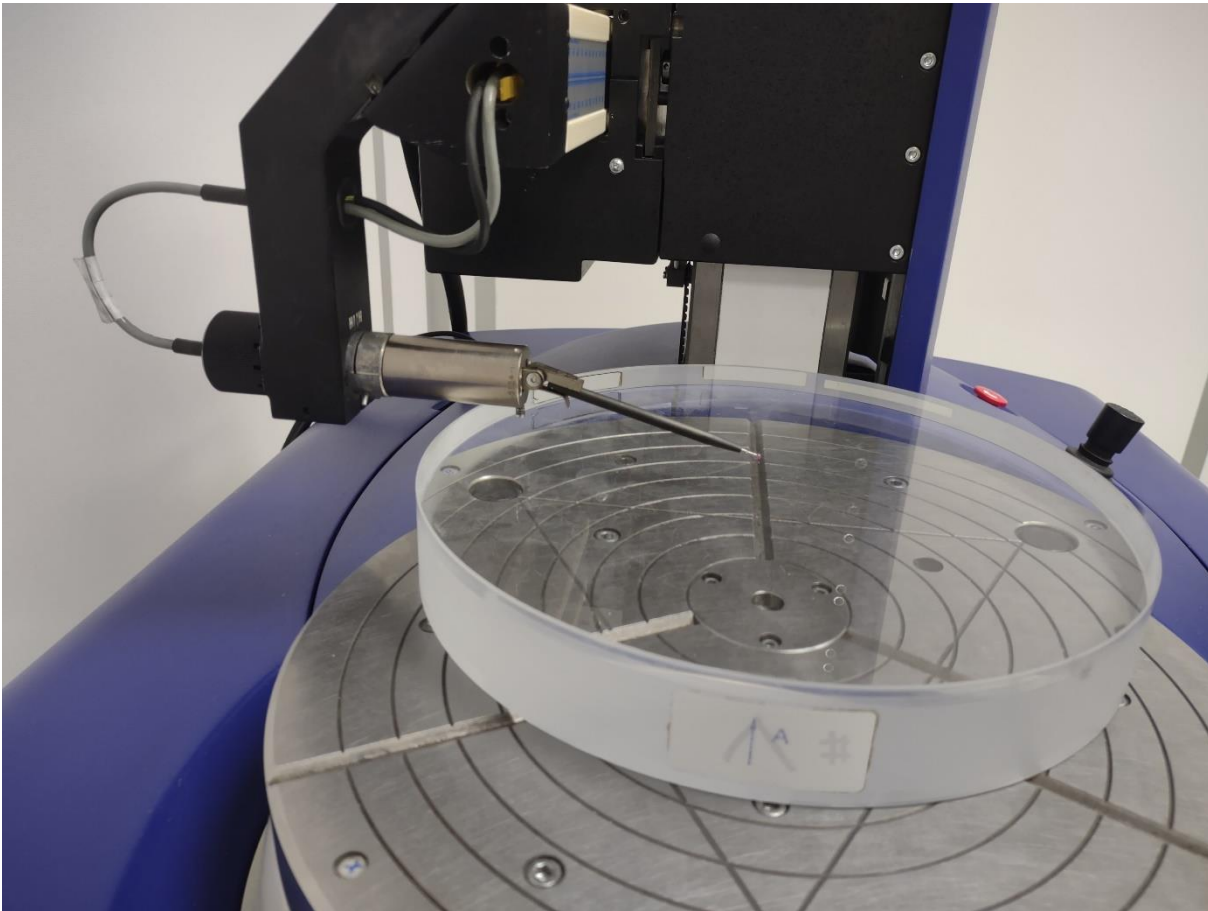
Horizontální přímost je v souladu se specifikací ($0,058 < 0,1$). Při měření bylo přesně dosaženo stanovené cílové nejistoty měření ($0,15 = 0,15$). Grafická interpretace výsledku měření je na obr. 26.



Obr. 26 Grafická interpretace výsledku měření horizontální přímosti – vlastní dílo

Největším příspěvkem k nejistotě měření horizontální přímosti je chyba uzavření (cca. 55 %). Následuje příspěvek od použitého etalonu (cca. 44 %). Další příspěvky jsou zcela zanedbatelné.

Ukázka z měření horizontální přímosti je na obr. 27.



Obr. 27 Skleněná rovinná plocha – stanovení horizontální přímosti – vlastní dílo

4.6.11 Složky nejistoty při stanovení kolmosti horizontálního přímovodu k vřetení

Kolmost horizontálního přímovodu k vřetení se stanovuje ze stejné sady měření jako horizontální přímost. Jako referenční základna je zvolena osa vřetene stolu.

V souladu s dokumentem EA 4/02 M:2022 byla měřená veličina vyjádřena v závislosti na vstupních veličinách dle následující rovnice (18).

$$K_{HPV} = K_x + \delta K_U + \delta K_S + \delta K_O + \delta K_{Tuh}, \quad (18)$$

kde K_{HPV} → měřená kolmost horizontálního přímovodu k vřetení.

K_x → hodnota kolmosti horizontálního přímovodu k vřetení stanovená při měření na etalonu (skleněné rovinné ploše). Hodnota je určena jako aritmetický průměr z naměřených hodnot.

δK_U → korekce na chybu uzavření. Identický význam jako v podkapitole 4.6.8.

δK_S → vliv použitého softwaru. Identický význam jako v podkapitole 4.6.8.

δK_O → nejistota měření kolmosti vyhodnocená způsobem A.

δR_{Tuh} → korekce na vliv nedokonalé tuhosti vřetene. Nedokonalá tuhost vřetene způsobuje určité naklonění osy vřetene vůči ideálnímu stavu. Roli hraje též nedokonalá tuhost horizontálního přímovodu (sloupu). Maximální velikost chyby způsobené nedokonalou tuhostí vřetene je $\pm 0,15 \mu\text{m}$ a je předpokládáno rovnoměrné rozdělení.

V tomto případě není uvažován vliv použitého etalonu, protože se předpokládá, že vyrovnaní stolu bude dostatečně kvalitní a že rovinné sklo má výrazně lepší rovinnost než

horizontální přímovod. Díky těmto předpokladům lze stanovit v softwaru kolmost horizontálního přímovodu k vřetení a rovinné sklo slouží „pouze“ jako měřicí pomůcka.

Při stanovení kolmosti horizontálního přímovodu k vřetení byly provedeny 3 sady měření přímosti na skleněné rovinné ploše. Následně došlo s pomocí softwaru ke stanovení kolmosti, jejíž hodnoty jsou zaznamenány v následující tab. 16. Součástí tabulky je také přehled nastavených parametrů měření.

Tab. 16 Naměřené hodnoty kolmosti a parametry měření

Měření	1	2	3
SQR [μm]	0,0953	0,0864	0,0901
S – Filtr (λ_c): Gauss; 8 mm Referenční přímka: nejmenších čtverců (LS) Základna: vřeteno			

Dosazením do rovnice (1) byl získán následující výsledek:

$$K_x \doteq 0,0906 \mu\text{m}$$

Poté dalším dosazením do rovnic (4) a (5) byla získána nejistota měření vyhodnocená způsobem A δK_O :

$$\delta K_O \doteq 0,00594 \mu\text{m}$$

Dalším krokem je vytvoření přehledové tab. 17 s jednotlivými příspěvky k nejistotě měření při kalibraci.

Tab. 17 Příspěvky k nejistotě měření při stanovení kolmosti horizont. přímovodu k vřetení

Veličina X_j	Odhad x_j	Standardní nejistota $u(x_j)$	Typ rozdělení pravděpodobnosti	Koeficient citlivosti c_j	Faktor rozdělení	Příspěvek k nejistotě $u_j(y)$ [μm]
K_x	0,0906 μm	-	-	-	-	-
δK_U	0,00 μm	0,056 μm	U	1	0,7	0,0560
δK_S	0,00 μm	0,003 μm	rovnoměrné	1	0,6	0,0030
δK_O	0,00 μm	0,00594 μm	-	-	-	0,0059
δR_{Tuh}	0,00 μm	0,09 μm	rovnoměrné	1	0,6	0,0900
K_{HPV}	0,091 μm	-	-	-	-	0,106

Dosazením příspěvků k nejistotě do rovnice (9) a následným odmocněním byla stanovena hodnota rozšířené nejistoty měření:

$$u_c = u_{K_{HPV}}(y) \doteq 0,107 \mu\text{m}$$

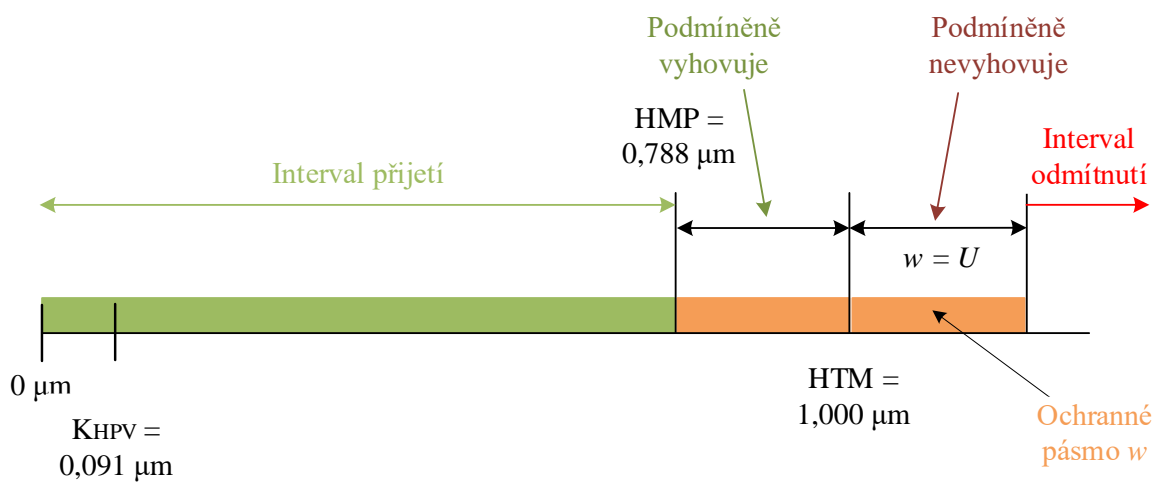
Posledním krokem je stanovení rozšířené nejistoty měření dosazením do rovnice (11), přičemž se předpokládá standardní hodnota koeficientu rozšíření $k = 2$:

$$U_{K_{HPV}} = 2 \cdot 0,106 \mu\text{m} = \mathbf{0,212 \mu\text{m}}$$

Úplný výsledek měření je tedy následující:

$$\mathbf{K_{HPV} = (0,091 \pm 0,212) \mu\text{m}}$$

Kolmost horizontálního přímovodu k vřetení je v souladu se specifikací ($0,091 < 0,788$). Při měření navíc bylo dosaženo nižší rozšířené nejistoty měření, než je stanovená cílová nejistota měření ($0,212 < 0,25$). Grafická interpretace výsledku měření je na obr. 28.



Obr. 28 Grafická interpretace výsledku měření kolmosti horizontálního přímovodu k vřetení – vlastní dílo

Největším příspěvkem k nejistotě měření kolmosti horizontálního přímovodu k vřetení je nedokonalá tuhost vřetene (téměř 72 %). Následuje příspěvek od chyby uzavření (téměř 28 %). Další příspěvky jsou zcela zanedbatelné.

Jak již bylo zmíněno, měření kolmosti horizontálního přímovodu k vřetení probíhá současně s měřením horizontální přímosti sloupu, a proto je ukázka z měření opět k vidění na obr. 27.

5 DISKUSE A DOPORUČENÍ

5.1 Diskuse

Prvním hlavním cílem této práce bylo nastavení procesů v kalibrační laboratoři tak, aby byly v souladu s požadavky 7. kapitoly normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018. Došlo tedy k vytvoření vývojových diagramů jednotlivých typů procesů s ohledem na požadavky normy, ale i kalibrační laboratoře IMECO TH. Jednotlivé vývojové diagramy zobrazují sled činností, vstupy do procesu a výstupy z procesu. Je určeno, kdo může vykonávat jakou činnost a zodpovídá za ni.

Díky grafickému zobrazení vývojových diagramů a následnému popisu jednotlivých dílčích kroků v návazných Souvisejících dokumentacích by měla laboratoř dosáhnout na třetí úroveň řízení procesů dle modelu CMM, která byla vyhodnocena vzhledem k současnému stavu jako optimální.

Je však nutné podotknout, že vývojové diagramy uvedené v této práci jsou pouhým návrhem či podkladem. Před finálním zavedením projdou revizí v kalibrační laboratoři IMECO TH. Lze očekávat ještě další úpravy v některých bodech, aby byly procesy co nejvíce přizpůsobeny skutečně vykonávaným činnostem. Také budou doplněny odkazy na zcela konkrétní dokumenty místo obecného uvedení „Elektronický nebo tištěný dokument xx“ či pevně stanovené lhůty tam, kde je to vyžadováno. Avšak podstata procesů zůstane nezměněna.

Druhým stěžejním bodem práce bylo vypracovat návrh výpočtu nejistoty měření při kalibraci přístroje Talyrond 365. Tato problematika byla řešena především za použití postupů dle dokumentu EA 4/02 M:2022, normy ČSN EN ISO 14253-2: 2012, ale i jiných dokumentů. Došlo také ke konzultaci se zaměstnanci laboratoře při vytipování zdrojů nejistot měření.

Následující tab. 18 nabízí srovnání cílové nejistoty měření a nejistoty měření, která byla určena z naměřených údajů a vytipovaných důležitých zdrojů nejistoty měření.

Tab. 18 Srovnání cílové nejistoty měření a vypočtené nejistoty měření

Charakteristika	Cílová nejistota měření U [μm]	Vypočtená nejistota měření U_x [μm]
Chyba zvětšení	0,14	0,12
Radiální chyba vřetene	0,015	0,015
Axiální chyba vřetene	0,015	0,019
Vertikální přímost	0,20	0,19
Rovnoběžnost vertikálního přímovodu s vřetenem	0,25	0,24
Horizontální přímost	0,15	0,15
Kolmost horizontálního přímovodu k vřetení	0,25	0,21

Z tab. 18 plyne, že pro většinu charakteristik bylo dosaženo nižší nebo rovné vypočtené nejistoty měření, než je příslušná cílová nejistota měření. Výjimku tvoří pouze axiální chyba

vřetene. Je nutné zdůraznit, že hodnoty cílové nejistoty měření jsou pouze autorovým odhadem, a tedy pro některé charakteristiky nemusejí být přesné vzhledem k současnému stavu vědomostí autora práce v této problematice. Laboratoř bude muset předložit při žádosti o akreditaci nejnižší možné hodnoty rozšířené nejistoty měření, kterých je schopna u jednotlivých charakteristik dosáhnout. Tyto hodnoty mohou být (měly by být) odlišné (nižší) od hodnot cílové nejistoty měření uvedené v této práci, protože je možné zlepšit podmínky, za kterých by měření mohlo probíhat, a rovněž více iteracemi zpřesnit odhad velikosti některých zdrojů nejistoty měření. Tato problematika byla diskutována v rámci podkapitoly 4.4

Všechny výsledky měření, a tedy i rozšířené nejistoty měření, byly stanoveny za použití filtrů a referenčních prvků, které doporučuje výrobce zařízení při kalibraci použít. Je ale zřejmé, že pokud by uživatel zařízení následně při používání změnil tato nastavení při vyhodnocení, změnila by se kromě výsledku i nejistota měření. Avšak uvedení těchto možných variant v kalibračním listu by bylo velice nepřehledné a matoucí a ani není zákazníky vyžadováno. Pro příklad budiž uvedeno, že při vyhodnocení kruhovitosti lze použít 4 referenční kružnice (nejmenších čtverců, minimální opsanou, maximální vepsanou a minimální zóny). Při kombinaci s různými filtry a s ohledem na 7 různých vyhodnocených charakteristik by tak musel kalibrační list obsahovat desítky či stovky možností rozšířené nejistoty měření.

Pozornost by měla být také věnována způsobu, jakým je vyjádřena nejistota měření při kalibraci kruhoměru. Některé laboratoře vyjadřují tuto nejistotu jako jeden údaj. Zahrnuje v sobě identické či podobné charakteristiky, jaké jsou uvedeny v této práci samostatně. Poté se však často jedná o nejistotu měření válcovitosti a její velikost bude přirozeně vyšší než kterákoliv nejistota charakteristiky uvedené např. v tab. 18. Neexistuje jednotný přístup k této problematice. Důležitý by však měl být požadavek zákazníka, a také doporučení výrobců zařízení. Autor se domnívá, že vyjadřování složek nejistoty pro každou charakteristiku zvlášť je lepším řešením, protože výsledky lze lépe porovnat vůči stanoveným MPE zařízení. Také vzniká lepší přehled o technickém stavu stroje, protože výsledky měření jednotlivých charakteristik, jakož i jejich rozšířené nejistoty měření, budou často závislé na technickém stavu určité komponenty (např. elektromotory, ložiska, enkodér, vzduchotechnika, rubínový dotyk).

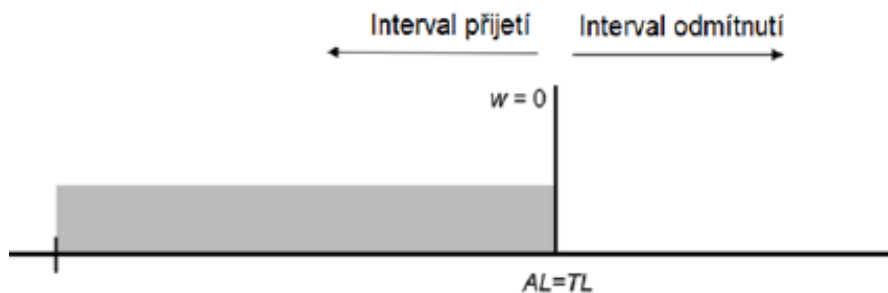
5.1.1 Použití rozhodovacích pravidel

Součástí každého kalibračního listu vydávaného kalibrační laboratoří IMECO TH je i výrok o shodě. Pro rozhodování je využíváno rozhodovací pravidlo dle dokumentu ILAC-G8:09/2019. V současné době ještě není v kalibračním listu použití pravidla explicitně uvedeno (možnost nápravy tohoto nedostatku byla uvedena v rámci podkapitoly 3.2.8).

Všechny výsledky kalibrací v této práci včetně grafické interpretace byly vypracovány v souladu s požadavky a terminologií dokumentu ILAC-G8:09/2019, a tím pádem splňují i požadavky normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018. Konkrétně bylo použito rozhodovací pravidlo „*Nebinární přijetí na základě ochranného pásma*“ [18]. V dalším pokračování této podkapitoly budou stručně představena rozhodovací pravidla dle ILAC-G8:09/2019.

Binární rozhodovací pravidlo jednoduchého přijetí

U tohoto pravidla se neuvažuje žádné ochranné pásmo. Výsledek měření vyhovuje, pokud se měřená hodnota nachází pod mezí přijetí. Výsledek měření naopak nevyhovuje, pokud se měřená hodnota nachází nad mezí přijetí. Předpokládá se, že odhad měřené veličiny má normální rozdělení. Použití pravidla je jednoduché, avšak riziko, že přijaté položky jsou mimo toleranční mez, je až 50 % [18]. Pravidlo je znázorněno na obr. 29.



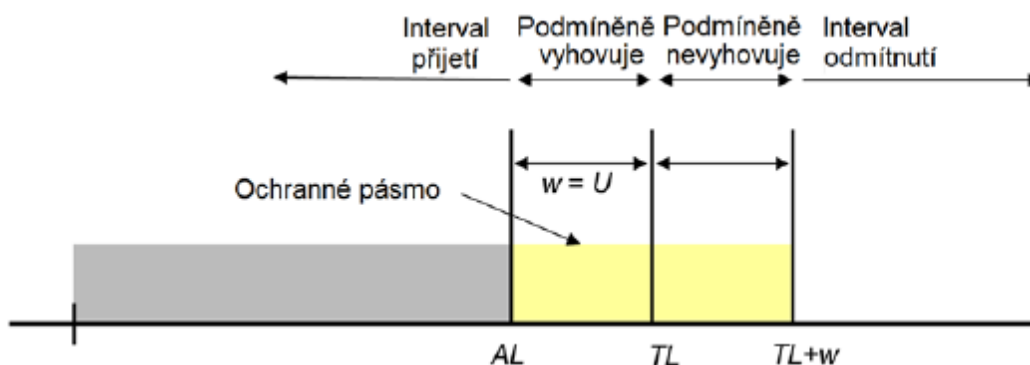
Obr. 29 Binární rozhodovací pravidlo jednoduchého přijetí; AL= mez přijetí, TL = mez tolerance; w = ochranné pásmo [18]

Nebinární rozhodovací pravidlo na základě ochranného pásma

V případě použití nebinárního rozhodovacího pravidla na základě ochranného pásma se předpokládá, že velikost ochranného pásma w je rovna rozšířené nejistotě měření U . Rovněž se předpokládá, že odhad měřené veličiny má normální rozdělení. Výsledek měření se uvádí následovně:

- „Vyhovuje – měřená hodnota je pod mezí přijetí Specifické riziko falešného přijetí je až 2,5 %.
- Vyhovuje podmíněně – měřený výsledek je uvnitř ochranného pásma a pod toleranční mezí, v intervalu $(TL - w; TL)$ Když naměřený výsledek je v blízkosti tolerance, je riziko falešného přijetí až 50 %.
- Nevyhovuje – výsledek měření je nad toleranční mezí zvýšenou o ochranné pásmo, $TL + w$. Specifické riziko falešného odmítnutí je až 2,5 %.
- Podmíněně nevyhovuje – naměřený výsledek je nad toleranční mezí, ale pod mezí tolerance rozšířenou o ochranné pásmo, v intervalu $(TL; TL + w)$. Když naměřený výsledek je v blízkosti tolerance, je riziko falešného odmítnutí až 50 %.“ [18]

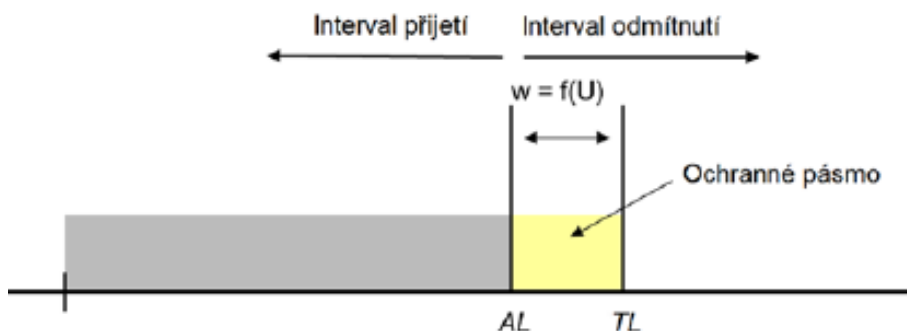
Pravidlo je znázorněno na obr. 30.



Obr. 30 Nebinární rozhodovací pravidlo na základě ochranného pásma [18]

Binární rozhodovací pravidlo na základě ochranného pásma

Binární rozhodovací pravidlo na základě ochranného pásma uvádí výsledek měření dvěma způsoby. Výsledek vyhovuje, pokud leží pod mezí přijetí, a naopak nevyhovuje, pokud leží nad mezí přijetí. Je předpokládáno, že odhad měřené veličiny má normální rozdělení. Velikost ochranného pásma je funkcí rozšířené nejistoty měření $w = f(U)$. V příkladu uvedeném v ILAC-G8:09/2019 se požaduje, aby riziko falešného přijetí bylo menší či rovno 2 % [18]. Pravidlo je znázorněno na obr. 31.



Obr. 31 Binární rozhodovací pravidlo na základě ochranného pásma [18]

Přehled rozhodovacích pravidel byl uveden jednak pro lepší orientaci v problematice, ale také z důvodu výskytu různé velikosti rizik při použití různých variant. Uvažování rizik a rozhodování na jejich základě je totiž jednou z velkých změn v normě ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018 oproti její předchozí verzi. Zákazník musí být informován o velikosti rizika, které se pojí s příslušným rozhodovacím pravidlem [1].

Pro drtivou většinu aplikací se využívá velikost ochranného pásma odpovídající rozšířené nejistotě měření $w = U$. Za předpokladu, že pro výpočet U byl použit koeficient rozšíření $k = 2$, totiž výše uvedený vztah zajišťuje přibližně 95% pravděpodobnost, že se výsledek nachází v odpovídajícím intervalu (pravděpodobnost falešného přijetí je $< 5\%$). Těchto výsledků lze dosáhnout použitím nebinárního rozhodovacího pravidla na základě ochranného pásma, a proto je toto pravidlo použito i v této diplomové práci. Odpovídající úroveň rizika je pro většinu průmyslových aplikací přijatelná.

5.1.2 Ekonomický aspekt statutu akreditované kalibrační laboratoře.

V úvodu práce bylo uvedeno, že hlavním důvodem získání statutu akreditované kalibrační laboratoře je tlak zákazníků. Některé společnosti vyžadují, aby kalibrační listy jejich měřicích zařízení byly vydané akreditovanou kalibrační laboratoří, protože to nařizují jejich interní směrnice, či ještě další nadřazené společnosti v rámci dodavatelského řetězce (typicky např. po subdodavatelích pro automobilový průmysl budou výrobci automobilů vyžadovat kalibrační listy od akreditované laboratoře, a tedy subdodavatelé musejí poptávat pouze akreditované laboratoře).

Kalibrační laboratoř IMECO TH nemá v současné době o zákazníky nouzi, ale do budoucna lze předpokládat, že stále více zákazníků bude požadovat jako standard, aby subjekt provádějící kalibrace byl akreditovaný podle ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018.

Odhaduje se, že prvotní získání akreditace vyjde cca. na 250 000 Kč (cena je za oba kalibrační postupy). Náklady spojené s každoročním auditem vyjdou na 50 000 až 60 000 Kč.

Lze očekávat nárůst množství potenciálních zákazníků, a proto bude zřejmě nutné zaměstnat minimálně 1 dalšího zaměstnance, který by buď zaujal místo dalšího technika, nebo zpracovával agendu spojenou s akreditací a jejím následným udržením místo zástupce vedoucího laboratoře. Roční náklady na takového zaměstnance by mohly dosahovat 700 000 Kč.

Všechny výše uvedené náklady budou muset zaplatit zákazníci. Promítnou se do zvýšené ceny za poskytované služby – tedy za servis a za kalibraci. Pro určení výše zdražení budou dále uvažována následující zjednodušení:

- Náklady na nového zaměstnance se firmě vrátí ve formě nových zákazníků
- U zákazníků dojde v drtivé většině případů jak k servisu zařízení, tak i ke kalibraci zároveň
- Během roku proběhne 100 servisů a kalibrací
- Zdražení bude určeno pro první akreditační cyklus, který trvá 3 roky. Bude tedy nutné započítat částku 250 000 Kč, 2x 55 000 za dozorový audit a za 3 roky proběhne 300 servisů a kalibrací.

Zdražení tedy bude $\frac{250\,000 + 2 \cdot 55\,000}{300} = 1200$ Kč na každý servis a kalibraci. Tuto částku lze promítnout do hodinové sazby práce, nákladů na dopravu, nákladů na použité čisticí a konzervační prostředky či zdražení vlastního kalibračního listu.

Výše uvedená značně zjednodušená kalkulace uvažuje pouze pokrytí nákladů. Avšak cílem každé společnosti je generovat zisk. Je tedy pravděpodobné, že do zdražení by se promítla ještě určitá položka přidané hodnoty. Toto další zdražení by však bylo pochopitelné, protože akreditace je svým způsobem reklama na kvalitně poskytované služby. A za kvalitu je ochotný zákazník zaplatit.

5.2 Doporučení

Z druhé a třetí kapitoly této práce vyplývá, že kalibrační laboratoř IMECO TH je již téměř kompletně připravena na podání žádosti o udělení akreditace dle normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018. Autor práce doporučuje ke zvážení zavedení několika bodů, které budou popsány v následujících odstavcích.

V první řadě se jedná o uvádění výroku o shodě v rámci kalibračního listu. Realizace tohoto doporučení je nutností, protože konkrétní požadavky na kalibrační listy jsou přímo uvedeny v rámci normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018. Měla by být doplněna informace, jaké rozhodovací pravidlo a z jakého dokumentu bylo použito. Tato problematika byla diskutována v rámci podkapitoly 3.2.8. Grafické zobrazení výsledků včetně velikosti nejistoty měření by bylo rovněž žádoucí, avšak autor práce si je vědom faktu, že výsledky měření se uvádějí pro 7 různých oblastí zvlášť. Kalibrační list by tak byl výrazně delší, než je jeho současná podoba a pro některé zákazníky by se mohl stát nepřehledným.

Dalším návrhem je používání postupu dle normy ČSN EN ISO 14253-1: 2018, který by pro některé ze 7 oblastí mohl vést ke snížení velikosti rozšířené nejistoty měření, a tedy ke zvýšení velikosti pole přijetí. Avšak pokud by došlo k použití postupu dle předmětné normy, bylo by rovněž nutné upravit použité rozhodovací pravidlo vzhledem k použití jiné velikosti koeficientu rozšíření k .

Za zvážení rovněž stojí možnost zavedení klíčových ukazatelů výkonnosti (KPI) alespoň pro vybrané procesy v laboratoři. Za současného stavu by bylo zavedení možné, ale již by nedocházelo k vyhodnocování ukazatelů, a procesy by tak stejně nemohly být zlepšovány. Laboraťor by musela zaměstnat nového zaměstnance. Jednou z jeho pracovních náplní by bylo stanovení a vyhodnocení KPI u laboratorních procesů a následné návrhy na změny a zlepšení v procesech.

Jako další autor doporučuje zlepšit získávání zpětné vazby. Nyní je zpětná vazba předávána povětšinou v ústní podobě, a následně přepsána do záznamu, který se vyhodnotí na poradách managementu. Bylo by vhodné vytvořit formuláře s předpřipravenými možnostmi pro odpovědi pro získávání pravidelné zpětné vazby. Takový formulář by mohl být součástí pracovního výkazu. Tím pádem by ho bylo možné vyplnit ihned u zákazníka v průběhu kalibrace či servisu přístrojů. Obdobný formulář by mohl sloužit i pro získávání zpětné vazby od zaměstnanců. Vzory formulářů pro získání zpětné vazby jsou uvedeny v příloze B této práce.

Do sloupce „Poznámky“ ve formuláři pro získání zpětné vazby může zákazník či zaměstnanec napsat pochvalu, nebo naopak kritiku libovolné oblasti. Pověřený pracovník by poté vyhodnocoval zpětnou vazbu s důrazem na případné nízké hodnocení (každá položka ohodnocena číslem < 5). Pokud by nebyl uveden důvod nízkého hodnocení ve sloupci „Poznámky“, pověřený pracovník laboratoře by kontaktoval zákazníka a zjistil důvod(y) hodnocení. Následně by se na poradách managementu řešilo nízké hodnocení. Pokud by bylo vyhodnoceno jako oprávněné, byl by pověřený pracovník pověřen úkolem vypracovat návrh opatření na zlepšení. Návrh by následně byl postoupen vedoucímu laboratoře či jeho zástupci k přezkoumání a schválení.

Bude též potřeba vytvořit vzorové dokumenty pro některé oblasti, aby se po jejich vyplnění z nich mohly stát řízené záznamy (např. program a plán interních auditů, záznam o neshodě, záznam o provedeném školení). Většina těchto dokumentů je již rozpracovaná pracovníky laboratoře. Není tedy nutné uvádět konkrétní doporučení podoby dokumentů.

V neposlední řadě musí vzniknout i dokumentovaný postup stanovení nejistoty měření při kalibraci profiloměru. Lze použít identické kroky, které byly aplikovány v rámci čtvrté kapitoly této práce. U profiloměru však není vyhodnocováno tolik charakteristik, a postup bude tedy stručnější než v případě kruhoměru.

Poslední bod doporučení se týká nejistot měření. Ze čtvrté kapitoly této práce vyplývá, že řada zdrojů nejistot nemusí být uvažována, protože jejich příspěvek ke kombinované nejistotě měření je minimální. Autor doporučuje uvažovat jen takové příspěvky, jejichž velikost je $\geq 20\%$ z největšího příspěvku. Jedinou výjimku tvoří příspěvek od nejistoty měření vyhodnocené způsobem A. Ten je sice často zanedbatelný, ale je vhodné sledovat trend vývoje jeho velikosti, protože může odrážet technický stav stroje, jak bylo diskutováno v rámci podkapitoly 4.6.5.

ZÁVĚR

Prvním cílem práce bylo definovat řešenou problematiku. V první kapitole byl proveden systémový rozbor, který sloužil jako výchozí bod pro zpracování celé práce, protože s jeho pomocí byl definován vnitřní a vnější kontext práce. Dále byla představena kalibrační laboratoř IMECO TH. Následoval popis procesu akreditace, kterým bude muset laboratoř pro získání akreditace úspěšně projít. Naprosto stěžejním dokumentem pro oblast akreditace kalibračních laboratoří je norma ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018, a proto došlo v závěru první kapitoly k uvedení vazeb této normy na jiné normativy – především na normu ČSN EN ISO 9001: 2016.

Druhým cílem práce bylo srovnat současný stav v kalibrační laboratoři IMECO TH vůči požadavkům normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018. Tento cíl byl naplněn v rámci druhé kapitoly. Jelikož používala laboratoř mnoho postupů a dokumentů dle předchozího vydání normy ČSN EN ISO/IEC 17025 z roku 2005, byla řada požadavků současného vydání normy rovněž splněna. Avšak v oblasti požadavků na proces (7. kapitola normy) byl nalezen značný deficit vůči požadavkům.

Se smazáním výše zmíněného deficitu souvisel třetí cíl práce – nastavení procesů dle požadavků normy ČSN EN ISO/IEC 17025: 2018. Pro splnění tohoto cíle byla v rámci třetí kapitoly vytvořena procesní mapa, a následně vývojové diagramy jednotlivých procesů. Kroky procesů byly sestaveny tak, aby vyhovovaly obecným požadavkům normy, ale i konkrétním požadavkům kalibrační laboratoře IMECO TH.

Dalším cílem bylo vytvořit návrh výpočtu nejistoty měření při kalibraci přístroje Talyrond 365. Každá akreditovaná kalibrační laboratoř má povinnost vyhodnocovat nejistotu měření. V rámci čtvrté kapitoly tedy došlo nejprve ke stručnému úvodu do problematiky nejistot měření, kterou zpracovává především dokument EA 4/02 M:2022. Následně došlo k systematickému vytipování možných zdrojů nejistot měření. Byla provedena kalibrace kruhoměru Talyrond 365 v prostorách laboratoře IMECO TH za srovnatelných podmínek, za kterých by probíhala i u zákazníků. Získané výsledky měření byly dále zpracovány a došlo ke stanovení rozšířené nejistoty měření pro 7 různých charakteristik, které se u kruhoměru stanovují.

Velikosti jednotlivých příspěvků k nejistotě měření uváděné v rámci čtvrté kapitoly nemusejí být zcela přesné, protože autor práce nemá v této oblasti ještě potřebné zkušenosti. Nicméně i tak představují komplexní pohled na problematiku stanovení nejistoty měření při kalibraci kruhoměru.

Posledním cílem práce bylo zhotovit závěr ze zjištěných poznatků a vypracovat doporučení pro kalibrační laboratoř. Cíl byl splněn v rámci páté kapitoly, kde autor doporučuje určité kroky, které by měly být zváženy či realizovány ještě před podáním žádosti o akreditaci. V diskusní části páté kapitoly se autor vyjádřil ke dvěma stěžejním bodům práce – nastavení procesů a stanovení nejistoty měření. Jsou uvedeny dodatečné komentáře k těmto dvěma bodům.

Před podáním žádosti o akreditaci bude ještě nutné dopracovat a zrevidovat některé části dokumentace v laboratoři. Autor doufá, že jím vytvořené části budou moci být v co největší míře použity v praxi a poslouží k získání akreditace. Je však nutné dodat, že každý auditor posuzující plnění požadavků normy pohlíží na problematiku svým vlastním způsobem. Je tak možné, že i když se zdají být požadavky splněny, auditor poukáže na nesrovnalost. Avšak

taková nesrovnalost může být hladce vyřešena. Záleží pouze na schopnosti obou zainteresovaných stran – tedy auditorů a laboratoře – dohodnout se.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN EN ISO 17025:2018. *Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratorů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018, 48 s. Třídící znak 015253.
- [2] TNI 01 0115:2009. *Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 90 s. Třídící znak 83031.
- [3] O nás. *cai.cz* [online]. [cit. 2022-11-03]. Dostupné z: https://www.cai.cz/?page_id=23
- [4] Metodický pokyn pro akreditaci: Základní pravidla akreditačního procesu. *cai.cz* [online]. [cit. 2022-11-03]. Dostupné z: https://www.cai.cz/wp-content/uploads/2021/12/02_03-MPA-00-01-22-Z%C3%A1kladn%C3%AD-pravidla-akredita%C4%8Dn%C3%ADho-procesu-20220101.pdf
- [5] Revize normy ISO/IEC 17025 pro akreditované kalibrační laboratoře a zkušebny. *Automa.cz* [online]. [cit. 2022-11-08]. Dostupné z: https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/54317.pdf
- [6] KALIBRAČNÍ LABORATOŘ IMECO TH. *Průručka kvality: Interní dokumentace kalibrační laboratoře*, 2022
- [7] KALIBRAČNÍ LABORATOŘ IMECO TH. *Související dokumentace SD44: Interní dokumentace kalibrační laboratoře*, 2022
- [8] KALIBRAČNÍ LABORATOŘ IMECO TH. *Související dokumentace SD82: Interní dokumentace kalibrační laboratoře*, 2022
- [9] Metrological Traceability in Calibration – Are you traceable?. *Blog.beamex.com* [online]. [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: <https://blog.beamex.com/metrological-traceability-in-calibration-are-you-traceable>
- [10] KALIBRAČNÍ LABORATOŘ IMECO TH. *Související dokumentace SD03: Interní dokumentace kalibrační laboratoře*, 2022
- [11] SMART (Specific, Measurable, Achievable, Realistic, Time Specific). *Managementmania.com* [online]. [cit. 2022-12-18]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/smart>
- [12] KALIBRAČNÍ LABORATOŘ IMECO TH. *Související dokumentace SD53: Interní dokumentace kalibrační laboratoře*, 2022
- [13] KALIBRAČNÍ LABORATOŘ IMECO TH. *Související dokumentace SD52: Interní dokumentace kalibrační laboratoře*, 2022
- [14] KALIBRAČNÍ LABORATOŘ IMECO TH. *Související dokumentace SD61: Interní dokumentace kalibrační laboratoře*, 2022
- [15] KALIBRAČNÍ LABORATOŘ IMECO TH. *Související dokumentace SD66: Interní dokumentace kalibrační laboratoře*, 2022
- [16] Procesní přístup. *Kvalita-jednoduse.cz* [online]. [cit. 2023-01-18]. Dostupné z: <https://kvalita-jednoduse.cz/procesni-pristup/>
- [17] Řízení procesů (Process Management). *managementmania.com* [online]. [cit. 2023-01-18]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/rizeni-procesu>

- [18] ILAC-G8:09/2019, Pokyny pro použití rozhodovacích pravidel a uvádění výroků o shodě. *Cai.cz* [online]. 2020 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.cai.cz/wp-content/uploads/2020/04/ILAC-G8-2019-1.pdf>
- [19] KALIBRAČNÍ LABORATOŘ IMECO TH. *Související dokumentace SD21: Interní dokumentace kalibrační laboratoře*, 2018
- [20] JCGM 100:2008, GUM 1995 with minor corrections – Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement. *Bipm.org* [online]. 2010 [cit. 2023-01-25]. Dostupné z: https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf/cb0ef43f-baa5-11cf-3f85-4dcd86f77bd6
- [21] Dokument EA: EA 4/02 M:2022 Vyhodnocení nejistoty měření při kalibraci. *Cai.cz* [online]. 2022 [cit. 2023-01-25]. Dostupné z: https://www.cai.cz/wp-content/uploads/2022/04/01_08-P001-EA-04_02-M_2022_20220425opr.pdf
- [22] PŘÍSTROJ PRO MĚŘENÍ KRUHOVITOSTI. *Adoc.pub* [online]. [cit. 2023-01-28]. Dostupné z: <https://adoc.pub/queue/eska-metrologicka-spolenost3a28285d4f1e7a6641e1c41556c19cfb30387.html>
- [23] ČSN EN ISO 14253-2:2012 – *Geometrické specifikace produktu (GPS) – Kontrola obrobků a měřicího vybavení měřením – Část 2: Návod pro odhad nejistoty měření v GPS, při kalibraci měřicího vybavení a při ověřování výrobku*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012, 68 s. Třídící znak 014100
- [24] Talyrond 365 Roundness/Cylindricity Systems. *Dokumen.tips* [online]. [cit. 2023-01-29]. Dostupné z: <https://dokumen.tips/documents/talyrond-365-roundnesscylindricity-systems-f-di-365-roundnesscylindricity-systems.html?page=1>
- [25] TAYLOR HOBSON. Installation and Maintenance Schedule for Talyrond TH365 series. Velká Británie: AMETEK. Inc., 2012, 29 s.
- [26] TAYLOR HOBSON. Talyrond with Metrology 4.0 – Software user guide. Velká Británie: AMETEK. Inc., 2021, 40 s.

SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam použitých zkratk a symbolů

ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> – Mezinárodní organizace pro Normalizaci
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> – Mezinárodní elektrotechnická komise
ČIA	Český institut pro akreditaci
KL	Kalibrační list
ČR	Česká republika
EA	<i>European co-operation for Accreditation</i> – Evropská organizace pro spolupráci v oblasti akreditace
ILAC	<i>International Laboratory Accreditation Cooperation</i> – Mezinárodní spolupráce v oblasti akreditace laboratoří
IAF	<i>International Accreditation Forum</i> – Mezinárodní akreditační fórum
MPA	Metodický pokyn pro akreditaci
TNI	Technické normalizační dokumenty informativního charakteru
GDPR	<i>General Data Protection Regulation</i> – Obecné nařízení o ochraně osobních údajů
SD	Související dokumentace
VL	Vedoucí laboratoře
ZVL	Zástupce vedoucího laboratoře
M	Metrolog
T	Technik
MK	Manažer kvality
IA	Interní auditor
TP	Technický postup
PK	Příručka kvality
KP	Kalibrační postup
PP	Procesní postup
SD	Související dokumentace
FMEA	<i>Failure Modes and Effect Analysis</i> – Analýza způsobů a důsledků poruch
PDCA	<i>Plan – Do – Check – Act</i> – Plánuj – Dělej – Kontroluj – Jednej
CMM	<i>Capability Maturity Model</i> – Model zralosti
MPZ	Mezilaboratorní porovnávání

g_a	faktor ochranného pásma
JCGM	<i>Joint Committee for Guides in Metrology</i> – Společný výbor pro vytváření návodů v metrologii
X	měřená veličina
\bar{x}	aritmetická střední hodnota
n	počet pozorování
x_i	individuální naměřená hodnota
$s^2(x)$	výběrový rozptyl
$s^2(\bar{x})$	výběrový rozptyl aritmetického průměru
$s(\bar{x})$	výběrová směrodatná odchylka aritmetického průměru
$u_A(x)$	nejistota měření vyhodnocená způsobem A
K	korekční faktor
X_j	vstupní veličina
x_j	odhad vstupní veličiny X_j
a_+	odhad horní meze veličiny X_j
a_-	odhad dolní meze veličiny X_j
$u^2(x_j)$	druhá mocnina standardní nejistoty odhadu hodnoty x_j
$u^2(y)$	druhá mocnina standardní nejistoty odhadu y hodnoty výstupní veličiny
$u_j(y)$	příspěvek ke standardní nejistotě odhadu y výstupní veličiny
c_i	koeficient citlivosti
u_c	kombinovaná standardní nejistota
U	rozšířená nejistota měření
k	koeficient rozšíření
CMC	<i>Calibration and Measurement Capability</i> – Kalibrační a měřicí schopnost
MPE	<i>Maximum Permissible Error</i> – Maximální dovolená chyba
UPR	<i>Undulations per Revolution</i> – Počet vln za otáčku
IMS	<i>Installation and Maintenance Schedule</i> – Program instalace a údržby přístroje
Z_x	měřená (neznámá) hodnota zvětšení vyjádřená jako odchylka kruhovitosti.
Z_E	hodnota etalonu zvětšení vyjádřená jako odchylka kruhovitosti.
δZ_{RE}	rozlišení snímače
δZ_H	korekce na hladinu hluku (akustický i elektromagnetický)
δZ_{VZ}	korekce na nestálou hodnotu tlaku vzduchu
δZ_U	korekce na chybu uzavření
δZ_{EX}	korekce na vystředění
δZ_R	korekce na vyrovnaní
δZ_S	vliv použitého softwaru

δZ_K	korekce na vlastnosti rubínového dotyku
δZ_T	korekce na vliv obsluhujícího technika
δZ_D	změna hodnoty kruhovitosti etalonu od poslední kalibrace vlivem driftu
δZ_O	nejistota měření kruhovitosti vyhodnocená způsobem A
δZ_M	korekce na rozdíl mezi jmenovitou a naměřenou hodnotou etalonu vyjádřenou jako aritmetický průměr naměřených hodnot
w	ochranné pásmo
DTM	dolní toleranční mez
DMP	dolní mez přijetí
HMP	horní mez přijetí
HTM	horní toleranční mez
E_{Rad}	měřená radiální chyba vřetene vyjádřená jako odchylka kruhovitosti.
E_x	hodnota radiální chyby vřetene naměřená na etalonu (skleněné polokouli) vyjádřená jako odchylka kruhovitosti
δE_E	údaj z kalibračního listu skleněné polokoule
δE_K	vliv nedokonalého bodu měření
E_{Ax}	měřená axiální chyba vřetene vyjádřená jako axiální házení
E_{xx}	hodnota axiální chyby vřetene naměřená na etalonu (skleněné polokouli) vyjádřená jako axiální házení
δE_P	vliv polohy snímače
P_{Ver}	měřená přímost vertikálního přímovodu
P_x	hodnota vertikální přímosti sloupu (přímovodu) naměřená na etalonu (ocelovém válci)
δP_E	údaj z kalibračního listu ocelového válce
δP_{RU}	korekce na ruční dovyrovnání
R_{VPV}	měřená rovnoběžnost vertikálního přímovodu s vřetenem
λ_c	vlnová délka cut-off
R_x	hodnota rovnoběžnosti vertikálního přímovodu s vřetenem stanovená při měření na etalonu (ocelovém válci)
δR_{Tuh}	korekce na vliv nedokonalé tuhosti vřetene
P_{Hor}	měřená přímost horizontálního přímovodu
P_{xx}	hodnota horizontální přímosti sloupu (přímovodu) naměřená na etalonu (skleněné rovinné ploše)
δP_{E2}	údaj z kalibračního listu skleněné rovinné plochy
K_{HPV}	měřená kolmost horizontálního přímovodu k vřetení
K_x	hodnota kolmosti horizontálního přímovodu k vřetení stanovená při měření na etalonu (skleněné rovinné ploše)
KPI	<i>Key Performance Indicator</i> – Klíčový ukazatel výkonnosti

Seznam tabulek

Tab. 1 Kvalifikační požadavky na zaměstnance [7].....	30
Tab. 2 Hodnoty korekčního faktoru K pro různý počet měření n	58
Tab. 3 MPE a cílové nejistoty měření pro jednotlivé charakteristiky kruhoměru Talyrond 365 [24].....	64
Tab. 4 Naměřené hodnoty odchylky kruhovitosti na etalonu Flick a parametry měření	68
Tab. 5 Příspěvky k nejistotě měření při zkoušce přesnosti snímače.....	69
Tab. 6 Naměřené hodnoty odchylky kruhovitosti na skleněné polokouli a parametry měření	73
Tab. 7 Příspěvky k nejistotě měření při stanovení radiální chyby vřetene	73
Tab. 8 Naměřené hodnoty axiálního házení na skleněné polokouli a parametry měření	76
Tab. 9 Příspěvky k nejistotě měření při stanovení axiální chyby vřetene	77
Tab. 10 Naměřené hodnoty přímosti na ocelovém válci a parametry měření	80
Tab. 11 Příspěvky k nejistotě měření při stanovení vertikální přímosti	81
Tab. 12 Naměřené hodnoty rovnoběžnosti a parametry měření.....	84
Tab. 13 Příspěvky k nejistotě měření při stanovení rovnoběžnosti vert. přímovodu s vřetenem	84
Tab. 14 Naměřené hodnoty přímosti na skleněné rovinné ploše a parametry měření.....	86
Tab. 15 Příspěvky k nejistotě měření při stanovení horizontální přímosti	86
Tab. 16 Naměřené hodnoty kolmosti a parametry měření	89
Tab. 17 Příspěvky k nejistotě měření při stanovení kolmosti horizont. přímovodu k vřetení..	89
Tab. 18 Srovnání cílové nejistoty měření a vypočtené nejistoty měření.....	91

Seznam obrázků

Obr. 1 Ishikawův diagram zaměřený na problematiku diplomové práce – <i>vlastní dílo</i>	18
Obr. 2 Proces akreditace – <i>vlastní dílo</i>	23
Obr. 3 Normativní rámec pro kalibrační laboratoře – <i>vlastní dílo</i>	25
Obr. 4 Identifikace právního subjektu [6]	28
Obr. 5 Organizační struktura laboratoře – <i>převzato z [6] a upraveno</i>	29
Obr. 6 Pyramida metrologické návaznosti [9].....	34
Obr. 7 Pyramida řízené dokumentace [12]	38
Obr. 8 Vývojový diagram procesu "Neshodná práce" 1. část – <i>vlastní dílo</i>	40
Obr. 9 Vývojový diagram procesu "Neshodná práce" 2. část – <i>vlastní dílo</i>	41
Obr. 10 Procesní mapa laboratoře – <i>vlastní dílo</i>	44
Obr. 11 Vývojový diagram procesu "Přezkoumání poptávek, nabídek a smluv" 1. část – <i>vlastní dílo</i>	46
Obr. 12 Vývojový diagram procesu "Přezkoumání poptávek, nabídek a smluv" 2. část – <i>vlastní dílo</i> ; MPE = Maximální dovolená chyba.....	47
Obr. 13 Vývojový diagram procesu "Stížnosti" – <i>vlastní dílo</i>	54
Obr. 14 Zdroje nejistoty měření [23].....	62
Obr. 15 Ishikawův diagram pro zdroje nejistot měření – <i>vlastní dílo</i>	62
Obr. 16 Vývojový diagram procesu "Kalibrace kruhoměru" – <i>vlastní dílo</i>	66
Obr. 17 Grafická interpretace výsledku kalibrace snímacího systému – <i>vlastní dílo</i>	71
Obr. 18 Ryskový etalon zvětšení Flick – <i>vlastní dílo</i>	72
Obr. 19 Grafická interpretace výsledku měření radiální chyby vřetene – <i>vlastní dílo</i>	74

Obr. 20 Skleněná hemisféra – stanovení radiální chyby vřetene – <i>vlastní dílo</i>	75
Obr. 21 Grafická interpretace výsledku měření axiální chyby vřetene – <i>vlastní dílo</i>	78
Obr. 22 Skleněná hemisféra – stanovení axiální chyby vřetene – <i>vlastní dílo</i>	79
Obr. 23 Grafická interpretace výsledku měření vertikální přímosti – <i>vlastní dílo</i>	82
Obr. 24 Ocelový válec – měření vertikální přímosti ve dvou protilehlých polohách – <i>vlastní dílo</i>	83
Obr. 25 Grafická interpretace výsledku měření rovnoběžnosti vertikálního přímovodu s vřetenem – <i>vlastní dílo</i>	85
Obr. 26 Grafická interpretace výsledku měření horizontální přímosti – <i>vlastní dílo</i>	87
Obr. 27 Skleněná rovinná plocha – stanovení horizontální přímosti – <i>vlastní dílo</i>	88
Obr. 28 Grafická interpretace výsledku měření kolmosti horizontálního přímovodu k vřetení – <i>vlastní dílo</i>	90
Obr. 29 Binární rozhodovací pravidlo jednoduchého přijetí; AL= mez přijetí, TL = mez tolerance; w = ochranné pásmo [18].....	93
Obr. 30 Nebinární rozhodovací pravidlo na základě ochranného pásma [18].....	93
Obr. 31 Binární rozhodovací pravidlo na základě ochranného pásma [18].....	94

SEZNAM PŘÍLOH

- PŘÍLOHA A Vzor kalibračního listu pro kruhoměr
PŘÍLOHA B Formulář pro získání zpětné vazby

KALIBRAČNÍ LIST



N^o XXXX/2022

Datum vystavení: 17. 08. 2022

list číslo: 1

vedoucí laboratoře

počet příloh: 3

Přijetí, funkce, podpis osoby schvalující kalibrační list a razítko

počet listů včetně příloh: 5

Zadavatel:

Stroj a jeho výrobce:

Kruhoměr Talyrond 365, Taylor Hobson

Typ a identifikační číslo(a):

TR 365 S.N. [redacted], snímač Talymin 5 S.N. [redacted], raménko 112/3244 s 2mm kuličkou, software Ultra V 6.3.2.37

Rozsah souřadnic:

Horizontální rameno s přímovodem 200 mm, vertikální sloup 500 mm

MPE (mezní chyby):

Chyba zvětšení max. 4% z rozsahu snímače; radiální chyba vřetene $\pm (0,04 \mu\text{m} + 0,0003 \mu\text{m} / \text{mm})$ výšky nad stolem; axiální chyba vřetene $\pm (0,04 \mu\text{m} + 0,0003 \mu\text{m} / \text{mm})$ vzdálenosti od středu; vertikální přímost $0,3 \mu\text{m} / 500 \text{mm}$; rovnoběžnost vertikálního přímovodu s vřetenem $\pm 1 \mu\text{m} / 500 \text{mm}$; horizontální přímost $0,25 \mu\text{m} / 200 \text{mm}$ a kolmost horizontálního přímovodu k vřetení $1 \mu\text{m} / 200 \text{mm}$

Specifikace:

Kalibrace kruhoměru dle specifikací zákazníka

Místo a datum kalibrace:

Kuřim, 10. 08. 2022

Podmínky měření:

Teplota prostředí $T_a = 23,2 - 23,6 \text{ }^\circ\text{C}$
Pozn.: údaje jsou korigovány v relaci s kalibračními listy

Použitá měřidla:

Pracovní etalon „Skleněná hemisféra“ – [redacted]
Pracovní etalon „Ryskový etalon zvětšení“ – [redacted]
Pracovní etalon „Kalibrační válec 630mm“ – [redacted]
Pracovní etalon „Rovinné sklo 250mm“ – [redacted]
Digitální teploměr – [redacted]
Pozn: všechna použitá měřidla jsou navázána u akreditovaných kalibračních laboratořích

Metoda kalibrace:

Kalibrace kruhoměru byla provedena dle kalibračního postupu KP02 a byla zrealizována kalibrace snímacího systému (chyba zvětšení), měření radiální a axiální chyby vřetene, vertikální přímosti a rovnoběžnosti, horizontální přímosti a kolmosti horizontálního přímovodu k vřetení.

Nejistota měření:

V tabulce jsou uvedeny rozšířené nejistoty U s koeficientem rozšíření $k = 2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA-4/02.

	Výsledek (μm)	Nejistota U (μm)
Kalibrace snímacího systému (chyba zvětšení)	18,67	0,12
Radiální chyba vřetene	0,02	0,01
Axiální chyba vřetene	0,02	0,01
Vertikální přímost	0,14	0,03
Rovnoběžnost vertikálního přímovodu s vřetenem	0,04	0,08
Horizontální přímost	0,10	0,10
Kolmost horizontálního přímovodu k vřetení	-0,03	0,10

Výrok o výsledku kalibrace:

Kruhoměr Talyrond 365 je ve shodě se specifikovanými MPE.

Přezkoumal:

List 1 ze 5

Výsledky měření jsou platné pouze pro měřidla uvedená v kalibračním listu.

Předmětný kalibrační list může být rozšiřován jen v úplném počtu stran včetně příloh a nezměněn. Změny a doplňky mohou být provedeny pouze laboratořích, která dokument vystavila.

Vytisknuto 4.4.2023 © IMECO TH, 2022

KALIBRAČNÍ LIST

N^o XXXX/2022

Výsledek měření při kalibraci kruhoměru:

Tabulka výsledků kalibrace snímacího systému (chyba zvětšení)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RONt (μm)	18,66	18,68	18,67	18,66	18,66	18,66	18,66	18,66	18,67	18,67

Hodnota ryskového etalonu zvětšení je 18,67 μm.

Tabulka výsledků radiální chyby vřetene

	1	2	3	4	5	6
RONt (μm)	0,0245	0,0235	0,0228	0,0247	0,0221	0,0240

Měření probíhalo ve výšce: 38,149mm

Tabulka výsledků axiální chyby vřetene

	1	2	3	4	5	6
Házení (μm)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Tabulka výsledků měření vertikální přímosti

	1	2	3
STRt (μm)	0,126	0,146	0,144

Tabulka výsledků měření rovnoběžnosti vertikálního přímovodu s vřetenem

	1	2	3
PAR (μm)	0,07	0,05	0,01

Tabulka výsledků měření horizontální přímosti

	1	2	3
STRt (μm)	0,12	0,10	0,09

Tabulka výsledků měření kolmosti horizontálního přímovodu k vřetení

	1	2	3
SQR (μm)	-0,02	-0,02	-0,04

Čas měření : 8:55 - 16:45

- Příloha: 1 - grafický záznam teploty prostředí na pracovišti a grafický záznam měření ryskového etalonu zvětšení
2 - grafický záznam měření skleněné hemisféry při stanovení radiální chyby vřetene a grafický záznam měření skleněné hemisféry při stanovení axiální chyby vřetene;
3 - grafický záznam měření vertikální přímosti a rovnoběžnosti; a grafický záznam měření horizontální přímosti a kolmosti horizontálního přímovodu k vřetení;

Na pracovišti zadavatele měřil: XXXXXXXXXXPřezkoumal: 

List 2 ze 5

Výsledky měření jsou platné pouze pro měřidla uvedená v kalibračním listu.

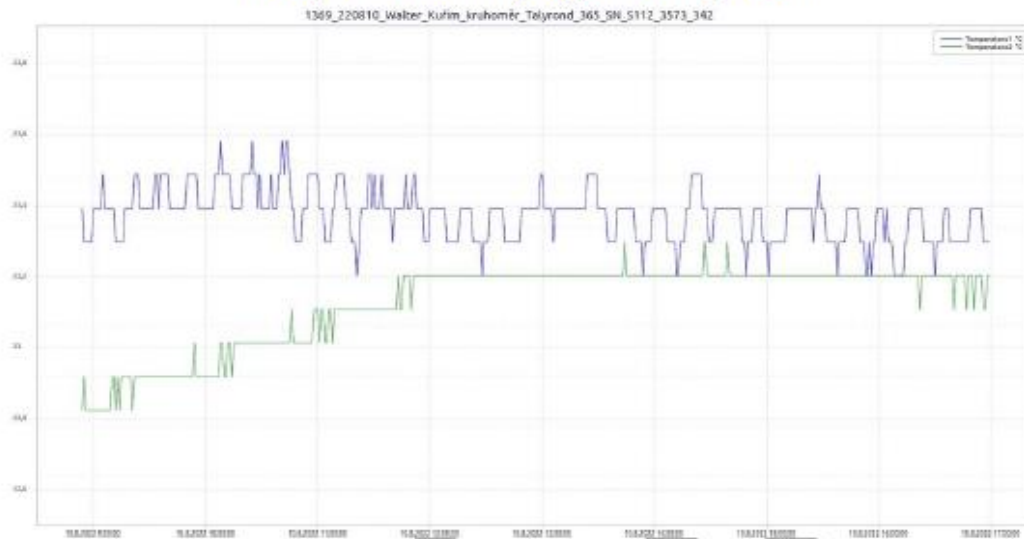
Předmětný kalibrační list může být rozšiřován jen v úplném počtu stran včetně příloh a nezměněn. Změny a doplňky mohou být provedeny pouze laboratoří, která dokument vystavila.

Vytlačeno 4.4.2023 © IMECO TH, 2022

KALIBRAČNÍ LIST

№ XXXX/2022
příloha 1

Grafický záznam měření teploty prostředí na pracovišti

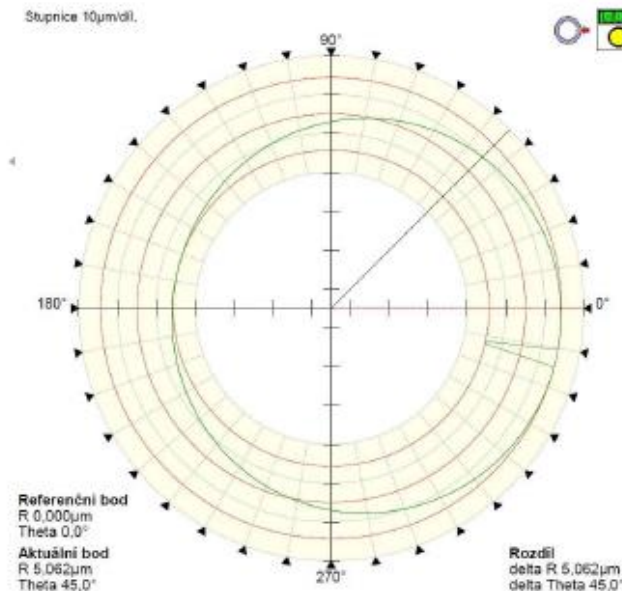


Grafický záznam měření ryskového etalonu zvětšení

6.3.2.3T



Stupnice 10µm/díl.



Kruhovitost		
T0.07		
R0.042 kruhovost/Gauss1 - 500 vto		
10.06.2022 9:06:35		
Titus ME		
360°/Walter/Kufim		
11.05.2022 9:16:11		
Specifikace		MZ kruhovost
Typ referenční		Gauss
Typ filtru		Gauss
Rozsah filtru	1 - 500 vto	
Zavádění		Vlevo
Parametry		
R0.042 (kruhovitost - vrstevně)	9,33	µm
R0.042 (kruhovitost - pohybově)	9,33	µm
R0.042 (kruhovitost)	10,66	µm
Podrobnosti		
Položka z	39.120	mm
Položka R	65.767	mm
Položka snímače		Vertikální
Směr kontury		R
Kontaktní rychlost	5.0	mm/s

Přezkoumal: *[Signature]*

List 3 ze 5

Výsledky měření jsou platné pouze pro měřidla uvedená v kalibračním listu.

Předmětný kalibrační list může být rozšiřován jen v úplném počtu stran včetně příloh a nezměněn. Změny a doplňky mohou být provedeny pouze laboratoří, která dokument vystavila.

Vytlačeno 4.4.2023 © IMECO TH, 2022

KALIBRAČNÍ LIST

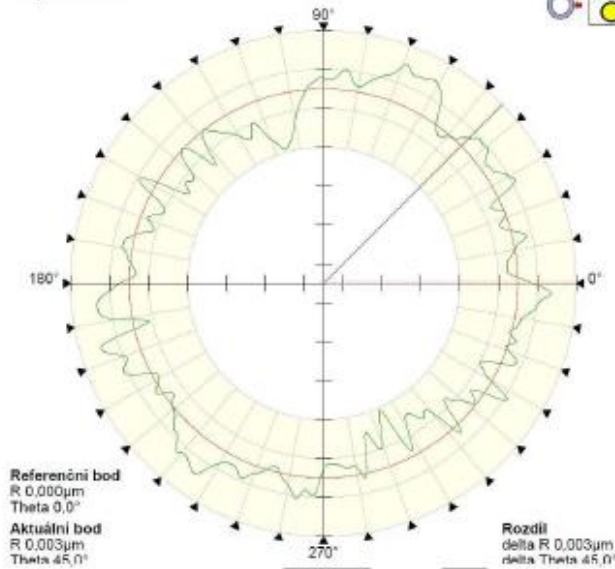
N^o XXXX/2022
příloha 2

Grafický záznam měření skleněné hemisféry při stanovení radiální chyby vřetene

6.3.2.37



Stupeňce 10nm/díl.



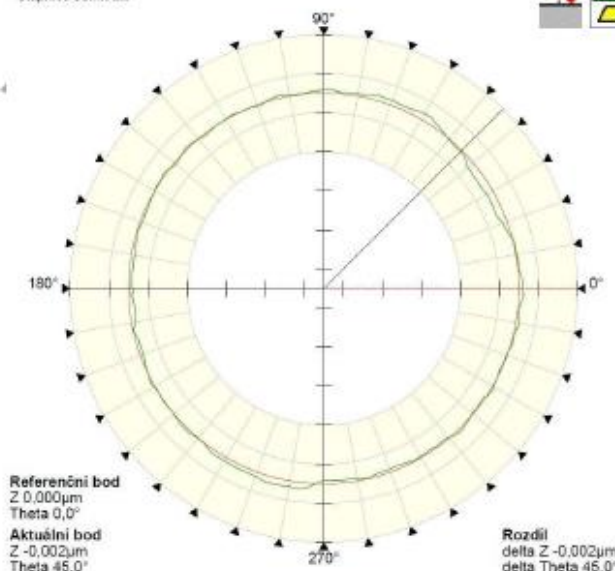
Kontrolní		
Specie Radial		
Rozměr Skleněná hemisféra 1 - 50 vno		
10.08.2022 10:32:30		
Heslo R1		
360° Admin T2085		
10.08.2022 10:32:06		
Specifikace		
Typ referenční	L5 kružnice	
Typ řetě	50000	
Rozsah řetě	1 - 50 vno	
Základní	Vlevo	
Parametry		
R _{0.0p} (kružnicová - vřeteno)	37,2	mm
R _{0.0h} (kružnicová - pohled)	14,3	mm
R _{0.0l} (kružnicová)	24,9	mm
Podmínky		
Poloha Z	8,149	mm
Poloha R	26,145	mm
Poloha orientace		Vertikální
Stráž koulku		2,1
Kompenzáce	5,0	mm/s

Grafický záznam měření skleněné hemisféry při stanovení axiální chyby vřetene

6.3.2.37



Stupeňce 50nm/díl.



Kontrolní		
Specie Axial		
F1.TLS matura Caspos 1 - 50 vno		
10.08.2022 10:03:51		
Heslo R1		
360° Admin T2085		
10.08.2022 10:03:33		
Specifikace		
Typ referenční	L5 rovina	
Typ řetě	50000	
Rozsah řetě	1 - 50 vno	
Základní	Vlevo	
Parametry		
Hlazení	0,02	µm
Podmínky		
Poloha Z	61,317	mm
Poloha R	24,967	mm
Poloha orientace		Horizontální
Stráž koulku		Z.C

Přezkoumal:

List 4 ze 5

Výsledky měření jsou platné pouze pro měřidla uvedená v kalibračním listu.

Předmětný kalibrační list může být rozšiřován jen v úplném počtu stran včetně příloh a nezměněn. Změny a doplňky mohou být provedeny pouze laboratoří, která dokument vystavila.

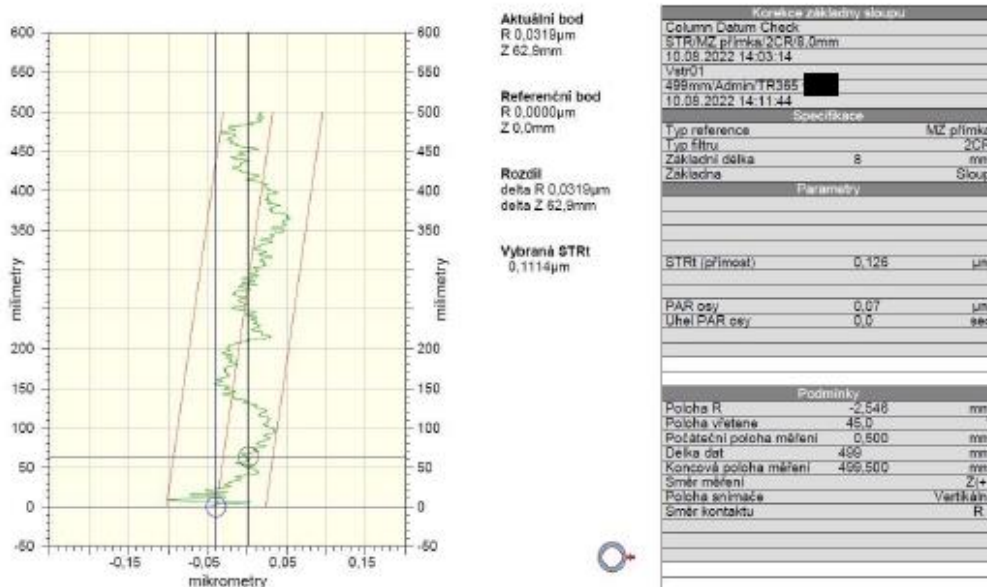
Vytisknuto 4.4.2023 © IMECO TH, 2022

KALIBRAČNÍ LIST

№ XXXX/2022
příloha 3

Grafický záznam měření vertikální přímosti a rovnoběžnosti

6.3.2.37

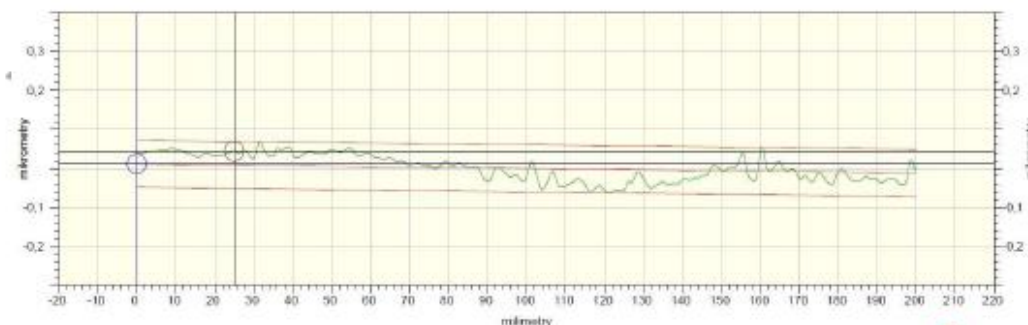


Grafický záznam měření horizontální přímosti a kolmosti horizontálního přímovodu k vřetení

6.3.2.37



Horizontální přímost	Arm Datum Check: STR/MZ přímka/2CR/8.0mm	10.08.2022 16:06:08
	Hstr: 200mm/Admin/TR365	10.08.2022 16:04:41



Aktuální bod		Referenční bod		Rozdíl		Vybrané STR1	
Z	R	Z	R	delta Z	delta R		
0,035 μm	25,0 mm	0,000 μm	0,0 mm	0,035 μm	25,0 mm		
Specifikace		Podmínky		Parametry			
Typ reference	MZ přímka	Délka dat	200 mm	STR1 (přímost)	0,12 μm		
Typ filtru	2CR	Koncová poloha měření	200,000 mm	PAR osy	0,02 μm		
Základní délka	8 mm	Směr měření	R+	Uhel PAR osy	0,0 sec		
Základna	Sloup	Poloha snímače	Horizontální				
		Směr kontaktu	Z(-)				
Poloha Z	99,567 mm						
Poloha vřeten	45,0 mm						
Počáteční poloha měření	0,000 mm						

Konec kalibračního listu.

Přezkoumal:

List 5 ze 5

Výsledky měření jsou platné pouze pro měřidla uvedená v kalibračním listu.

Předmětný kalibrační list může být rozšiřován jen v úplném počtu stran včetně příloh a nezměněn. Změny a doplňky mohou být provedeny pouze laboratořmi, která dokument vystavila.

Vytisknuto 4.4.2023 © IMECO TH, 2022

B – FORMULÁŘ PRO ZISK ZPĚTNÉ VAZBY

Dotazník spokojenosti zákazníka					
Zákazník	Komunikace s laboratoří	Rychlost splnění objednávky	Vstřícnost techniků	Vzhled a obsah kalibračního listu	Poznámky
Modřická kalibrační s.r.o.	10	10	10	10	

Dotazník spokojenosti zaměstnance							
Zaměstnanec	Atmosféra na pracovišti	Komunikace s nadřízenými	Pracovní podmínky (především délka pracovní doby, teplota na pracovišti)	Délka dovolené	Možnosti školení a osobního rozvoje	Možnost kariérního růstu	Poznámky
Alois Roubíček	10	10	10	10	10	10	

Význam číselného hodnocení v obou formulářích:

- 1 velmi špatné
- 10 vynikající