

# **Vypracování metodiky pro kalibraci měřících ramen firmy FARO a následná kalibrace pomocí měřícího ramene.**

Bc. Jaroslav Procházka

---

Diplomová práce  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jaroslav Procházka**  
Osobní číslo: **T14848**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Řízení jakosti**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Vypracování metodiky pro kalibraci měřících ramen  
firmy FARO a následná kalibrace pomocí měřícího  
ramene.**

Zásady pro vypracování:

1. Popis matematicko-statistických metod vhodných pro kalibraci ramen.
2. Kinetické rozborů polohování a měření rameny.
3. Vytvoření kalibračního postupu pro kalibraci ramene.
4. Ověření a aplikace v praxi.



Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. EA 4/02. Vyjadřování nejistot měření při kalibracích. Praha : Český institut pro akreditaci, 2001. 49 s. Dostupné z WWW:  
<[http://www.cai.cz/files/01\\_08-P001%20EA%2004\\_02\\_20061023.pdf](http://www.cai.cz/files/01_08-P001%20EA%2004_02_20061023.pdf)>.
2. PERNIKÁŘ, Jiří; TYKAL, Miroslav. Strojírenská metrologie 2. první. Brno: Aka-demické nakladatelství CERN, 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.
3. MELOUN M., MILITKÝ J.: Statistické zpracování experimentálních dat. East Publishing, Praha, 1998.
4. MANAGEMENT KALIBRACÍ MĚŘIDEL [online]. BRNO, 2010 [cit. 2015-01-21]. Dostupné z:[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=28596](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28596).  
DIPLOMOVÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Vladimír Pata**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **30. ledna 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2015**

Ve Zlíně dne 9. února 2015

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
děkan



  
prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: PROHAZKA JAROSLAV

Obor: ŘÍZENÍ JAKOSTI

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 5.5.2015

Procha

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevyjádřeně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédá k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato práce řeší vypracování metodiky kalibrace měřících ramen a následnou kalibraci měřícím ramenem. V práci je vypracován kompletní kalibrační postup s přílohami pro měřící ramena a kalibraci pomocí měřícího ramene. Dále jsou zde vypracovány vzorové kalibrační listy. V práci jsem vytvořil vzorovou metodiku, která může být použita pro kalibraci měřících ramen a kalibraci pomocí měřícího ramene.

Klíčová slova: FARO rameno, kalibrace, kalibrační postup, kalibrační list

## **ABSTRACT**

This work solves the development of calibration methods measuring arms and subsequent calibration of the measuring arm. The work is to develop a complete calibration procedure with attachments for measuring arms and calibration with the measuring arm. Then there are the development of sample calibration certificates. At work I have created a sample methodology that can be used to calibrate the measuring arms and calibration with the measuring arm.

Keywords: FARO arms, calibration, calibration procedure, calibration certificate

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu diplomové práce panu doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi. Dále firmě PRIMA BILAVČÍK, s.r.o. za podporu a mému nadřízenému Ing. Petru Žáčkovi za odborné konzultace.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

Bc. Jaroslav Procházka

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 MĚŘÍCÍ RAMENA FARO</b> .....	<b>13</b>
1.1    ROZDĚLENÍ MODELOVÝCH ŘAD.....	13
1.1.1    FARO Arm Edge.....	15
1.1.2    FARO Arm Fusion.....	15
1.1.3    FARO Arm Prime .....	16
<b>2 CHYBY MĚŘENÍ</b> .....	<b>18</b>
2.1    CHYBA ABSOLUTNÍ.....	18
2.2    CHYBA RELATIVNÍ.....	18
2.3    CHYBA SYSTEMATICKÁ .....	18
2.4    HRUBÁ CHYBA .....	19
2.5    NÁHODNÁ CHYBA .....	19
2.6    ZDROJE CHYB MĚŘENÍ. ....	20
2.6.1    Chyby, jejichž příčinou je použitá metoda.....	20
2.6.2    Chyby, jejichž příčinou je použité měřidlo. ....	20
2.6.3    Chyby, jejichž příčinou je pozorovatel. ....	20
2.7    VELIČINY A VÝRAZY SPOJENÉ S CHYBAMI.....	20
<b>3 NEJISTOTA MĚŘENÍ</b> .....	<b>23</b>
3.1    STANDARTNÍ NEJISTOTA TYPU A.....	23
3.1.1    Určení standartní nejistoty typu A .....	23
3.2    STANDARTNÍ NEJISTOTA TYPU B .....	25
3.2.1    Určení standartní nejistoty typu B.....	25
3.2.2    Vytipování možných zdrojů nejistot .....	26
3.2.3    Určení standardní nejistoty typu B $u_{zj}$ jednotlivých zdrojů. ....	26
3.2.4    Přepočet stanovené nejistoty $u_{zj}$ .....	27
3.2.5    Výpočet celkové standardní nejistoty typu B $u_B$ .....	28
3.3    KOMBINOVANÁ NEJISTOTA.....	28
3.4    ROZŠÍŘENÁ KOMBINOVANÁ NEJISTOTA .....	29
<b>4 METROLOGICKÁ NÁVAZNOST MĚŘIDEL</b> .....	<b>31</b>
4.1    ETALON.....	32
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>34</b>
<b>5 ÚVOD DO PROBLEMATIKY MĚŘÍCÍCH RAMEN</b> .....	<b>35</b>
<b>6 NÁLEŽITOSTI POTŘEBNÉ K VYPRACOVÁNÍ KALIBRAČNÍHO POSTUPU</b> .....	<b>36</b>



6.1	PŘEDMĚT KALIBRACE.....	36
6.2	ODKAZY NA NORMY A NAVAZUJÍCÍ PŘEDPISY.....	37
6.3	OBLAST PLATNOSTI A KVALIFIKACE PRACOVNÍKŮ PROVÁDĚJÍCÍCH KALIBRACI.....	37
6.4	NÁZVOSLOVÍ, DEFINICE, POUŽITÉ ZKRATKY.....	38
6.5	PROSTŘEDKY POTŘEBNÉ PRO KALIBRACI.....	38
6.6	OBECNÉ PODMÍNKY KALIBRACE.....	43
6.7	VLASTNÍ KALIBRACE.....	43
6.8	PŘÍLOHY.....	43
<b>7</b>	<b>VYPRACOVÁNÍ KALIBRAČNÍHO POSTUPU PRO SMS.....</b>	<b>44</b>
7.1	PŘEDMĚT KALIBRACE.....	44
7.2	ODKAZY NA NORMY A NAVAZUJÍCÍ PŘEDPISY.....	44
7.2.1	Externí.....	44
7.2.2	Interní.....	45
7.3	OBLAST PLATNOSTI A KVALIFIKACE PRACOVNÍKŮ PROVÁDĚJÍCÍCH KALIBRACI.....	45
7.4	NÁZVOSLOVÍ, DEFINICE, POUŽITÉ ZKRATKY.....	46
7.4.1	Názvosloví, definice.....	46
7.4.2	Použité zkratky.....	47
7.5	PROSTŘEDKY POTŘEBNÉ KE KALIBRACI.....	48
7.6	OBECNÉ PODMÍNKY KALIBRACE.....	48
7.7	VLASTNÍ KALIBRACE.....	49
7.7.1	Vnější prohlídka měřidla.....	49
7.7.2	Provozní podmínky.....	49
7.7.3	Funkční zkouška.....	49
7.7.4	Kontrola metrologických parametrů.....	50
	Kontrola chyby snímání, P.....	50
	Test opakovatelnosti jednoho bodu.....	50
	Kontrola chyby indikace při měření rozměru, E.....	50
	Kalibrace na kalibrační tyč s koulemi.....	51
	Kontrola chyby indikace při měření rozměru koba step, E.....	51
7.7.5	Vyhodnocení.....	52
7.8	ROZDĚLOVNÍK.....	52
7.9	VALIDACE KALIBRAČNÍHO POSTUPU.....	53
7.9.1	Výpočet měřicí schopnosti kalibrace.....	53
7.9.2	Validace kalibračního postupu.....	54
7.9.3	Příklad výpočtu nejistoty měření.....	54
<b>8</b>	<b>KALIBRAČNÍ POSTUP MĚŘIDEL MĚŘENÉ NA SMS FARO.....</b>	<b>57</b>
8.1	PŘEDMĚT KALIBRACE.....	57
8.2	ODKAZY NA NORMY A NAVAZUJÍCÍ PŘEDPISY.....	57
8.2.1	Externí.....	57
8.2.2	Interní.....	58

8.3	OBLAST PLATNOSTI A KVALIFIKACE PRACOVNÍKŮ PROVÁDĚJÍCÍCH KALIBRACI.....	58
8.4	NÁZVOSLOVÍ, DEFINICE, POUŽITÉ ZKRATKY .....	58
8.4.1	Názvosloví, definice.....	58
8.4.2	Použité zkratky .....	58
8.5	PROSTŘEDKY POTŘEBNÉ KE KALIBRACI .....	59
8.6	OBECNÉ PODMÍNKY KALIBRACE.....	59
8.6.1	Kalibrace prováděné ve stálé laboratoři:.....	59
8.6.2	Kalibrace prováděné v prostotách zákazníka:.....	60
8.6.3	Příprava ramene FARO k měření.....	60
8.7	VLASTNÍ KALIBRACE.....	60
8.7.1	Vnější prohlídka měřidla.....	60
8.7.2	Funkční zkouška.....	61
8.7.3	Kontrola metrologických parametrů .....	61
	Měření dle výkresové dokumentace .....	61
	Měření dle CAD modelu.....	61
8.7.4	Vyhodnocení .....	61
8.8	ROZDĚLOVNÍK.....	62
8.9	VALIDACE KALIBRAČNÍHO POSTUPU .....	62
8.9.1	Výpočet měřicí schopnosti kalibrace .....	62
8.9.2	Validace kalibračního postupu .....	64
<b>9</b>	<b>VYPRACOVÁNÍ KALIBRAČNÍHO LISTU PRO MĚŘÍCÍ RAMENO.....</b>	<b>65</b>
<b>10</b>	<b>VYPRACOVÁNÍ KALIBRAČNÍHO LISTU PRO MĚŘENÍ NA SMS FARO.....</b>	<b>86</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>90</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>91</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>95</b>

## ÚVOD

V této diplomové práci se zabývám vypracováním metodiky pro kalibraci měřících ramen značky FARO a následnou kalibrací pomocí měřícího ramene.

Mnou vybrané téma jsem si zvolil především z důvodů aktuální potřeby mého zaměstnavatele, kdy nabízíme prodej měřících ramen značky FARO. Jako službu pro zákazníka jsme chtěli rozšířit akreditaci naší akreditované kalibrační laboratoře i o kalibraci měřících ramen. Dále naši zákazníci požadovali kalibraci různých měřících držáků a přípravků sloužících pro kontrolu vyrobených dílů, a to nás vedlo pro další rozšíření o kalibraci pomocí měřících ramen. Kalibrace pomocí měřícího ramene byla upřednostněna před klasickým souřadnicovým měřícím strojem především kvůli jeho mobilitě. Požadavek od zaměstnavatele byl co nejrychlejší vyřešení problému, vzhledem k tomu že v měsíci únoru je každoroční audit, u kterého měla být zahrnuta i kalibrace měřících ramen a kalibrace pomocí měřícího ramene.

Cílem diplomové práce je vytvoření kalibračního postupu a vzorového kalibračního listu. Kdy v současné době neexistuje jednotný kalibrační postup pro kalibraci měřících ramen, ani žádná norma která by ho popisovala. Proto se zaměřím na vytvoření kalibračního postupu použitelného na kalibraci ramen a kalibraci pomocí měřícího ramene. V druhé části se zaměřím na vytvoření vzorového kalibračního listu, který vznikne z reálné kalibrace měřícího ramene a také z kalibrace reálného měřícího přípravku zákazníka.

V teoretické části diplomové práce se zaměřím na jednotlivé typy měřících ramen s jejich nejlepší měřící schopností. Možnými oblastmi použití a stručným popisem rozšíření o liniový laser. Dále zde budou popsány jednotlivé chyby měření a nejistota měření. Metrologická návaznost měřidel na státní, nebo mezinárodní etalony a popis etalonu.

Měřící ramena jsou v dnešní době hojně rozšířena, vzhledem k jejich mobilitě a rychlosti měření. Firma FARO je lídrem při vývoji a výrobě měřících ramen, díky její dvacetileté praxi. Výrobky mají vynikající zpracování s dokonalou ergonomií a jednoduchým softwarovým rozhraním, proto měřící ramena může používat i méně kvalifikovaná obsluha.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 MĚŘÍCÍ RAMENA FARO

Nejnámějšími produkty značky FARO jsou mobilní měřicí stroje, známé jako měřicí ramena FaroArm. Vyrábí se ve třech výrobních řadách a v kombinaci s příslušným softwarem umožňují rychlé a pohodlné měření pomocí CAD dat, ale samozřejmě i v případě, kdy počítačový model není k dispozici. Měřicím ramenem Platinum a vývojem nových řad měřicích ramen uvedla společnost FARO Technologies Inc. na trh nejvyspělejší mobilní měřicí ramena v historii. Tyto produkty představují vyvrcholení dvou desetiletí výzkumu a vývoje s mnoha patenty a inovacemi v přesnosti, spolehlivosti a jednoduchosti použití. Všechna měřicí ramena jsou mimo standardní USB komunikaci vybavena bezdrátovým rozhraním Bluetooth, nová série Edge disponuje i rozhraním WiFi. Měřicí ramena jsou o 30% lehčí než konvenční měřicí ramena a mají zabudovanou baterii až pro 8 hodin provozu. Upínání je vyřešeno 90 mm základnou, kterou lze doplnit magnetem, vakuovou přísavkou nebo trojnožkou a měřit tak skutečně kdekoli. Komfort práce s ramenem zvyšuje vestavěné vnitřní vyvažování, neomezená rotace kloubů a senzory přetížení, jež zamezují v maximální míře vzniku chyb.[1]

Jsou konstruované pro měření, kontrolu a digitalizaci v různých odvětvích průmyslu. Jedná se o ruční měřicí stroje, které převádějí pohyb ze šesti rotačních snímačů na klasický výstup XYZ zpracovávaný výkonným softwarem v češtině. Pracovním prostorem je díky tomuto uspořádání koule, jejíž průměr je dán délkou ruky. Tyto souřadnicové měřicí stroje se zejména aplikují pro kontrolu součástí, které nelze přenášet nebo umístit do běžného stacionárního souřadnicového měřicího stroje. [2]

Přenosné souřadnicové měřicí stroje jsou mladé. Dosud se v českém jazyce neustálil jednoduchý název těchto měřidel. Název *Přenosný souřadnicový měřicí stroj* je velmi dlouhý. Anglickému výrazu "arm" nejlépe odpovídá český výraz ruka nebo rameno. Jednotlivé klouby přebírají názvy kloubů ruky, tj. ramenní (shoulder), loketní (elbow) a zápěstní (wrist). Pokusíme se používat tuto terminologii.[2]

### 1.1 Rozdělení modelových řad

Modelová řada Fusion je dostupná v šestiosém i sedmiosém provedení, které je určeno převážně pro spolupráci s bezdrátovým liniovým laserovým skenerem FARO Laser Line Probe V3.

Měřicí ramena nové koncepce Edge jsou vyráběny pouze v sedmikloubovém provedení

s odnímatelnou pistolovou rukojetí. Pro všechny typy měřících ramen série Edge je určen nový laserový liniový skener FARO Laser Line Probe V4, v kombinaci s měřícím ramenem také nazývaný FARO Edge ScanArm.

Jako poslední byla představena série Prime. Jedná se o velmi přesnou sérii měřících ramen, která je vyráběna pouze v konfiguraci pro dotekové měření a tudíž nelze osadit laserovým liniovým skenerem. [1]



Obrázek 1. FARO Arm Fusion [3]

### 1.1.1 FARO Arm Edge

Měřicí rameno FARO Edge je doposud nejpokrokovější měřicí rameno v historii společnosti. Je to vůbec první měřicí rameno s integrovaným asistentem pro měření. Vestavěný dotykový displej a vlastní operační systém představují revoluci mezi mobilními měřicími systémy. Snadná manipulace a ovladatelnost ramene FARO Edge přináší uživatelům vyšší výkon a spolehlivost, což se projevuje zvýšením produktivity a urychlením samotného procesu měření pro účely inspekce či reverse-engineeringu. Vyšší přesnost než u série Platinum, nový typ rychloupínače a především bezdrátová komunikace využívající rozhraní Bluetooth a WiFi zvyšují komfort měření při zachování všech výhod již uplatněných u předchozích sérií. Měřicí ramena série Edge jsou vyráběna s pracovními rozsahy 1,8 m, 2,7 m a 3,7 m. Všechna provedení měřicích ramen série Edge lze osadit novým laserovým liniovým skenerem.[1]

Nejčastější použití:

- Letecká výroba: Měření dílů, vyrovnání, nastavování přípravků a forem
- Automobilová výroba: Měření dílů, výroba nástrojů, vyrovnání, nastavování přípravků a forem
- Kovovýroba: Inspekce prvních kusů, měření v kusové i sériové výrobě
- Výroba forem: Inspekce forem, skenování a vytváření prototypů, kontrola při obrábění.

Model (Měřicí rozsah)	Délková přesnost	Přesnost - Opakovatelnost měření jednoho bodu v prostoru	Hmotnost
Osy	7	7	7
Edge 1.8m (6ft.)	±0.034mm. (±0.013in.)	0.024mm, (0.009in.)	10.7kg (23.6lbs.)
Edge 2.7m (9ft.)	±0.041mm (±0.0016in.)	0.029mm (0.0011in.)	10.9kg (24.1lbs.)
Edge 3.7m (12ft.)	±0.091mm (±0.0035in.)	0.064mm (0.0025in.)	11.3kg (24.9lbs.)

Obrázek 2. Specifikace série Arm Edge [1]

### 1.1.2 FARO Arm Fusion

Pokud je požadováno mobilní SMS s možností reverse engineeringu jako má FARO Platinum a jsou-li flexibilní požadavky na přesnost, vyberte si nové - levnější měřicí rameno

FARO Fusion. Vysoká přesnost a nízké pořizovací náklady znamenají, že se na trhu objevilo dostupné řešení. FARO Fusion umožňuje komukoli a kdekoli provádět měření, reverse engineering nebo porovnání s CAD modely dílů, přípravků a sestav s mimořádnou přesností.[1]

Nejčastější použití:

- Letecká výroba: měření dílů, vyrovnání, nastavování nářadí a forem
- Automobilová výroba: měření dílů, vyrovnání, nastavování nářadí a forem
- Kovovýroba: inspekce prvních kusů, měření v kusové i sériové výrobě
- Inspekce forem, nářadí, skenování a vytváření prototypů, kontrola při obrábění

Model (Měřicí rozsah)	Přesnost – Opakovatelnost měření jednoho bodu v prostoru	Délková přesnost		Hmotnost		
		Počet os	6	7	6	7
Fusion 1.8 m (6 ft.)	.036 mm (.0014 in.)	.046 mm (.0018 in.)	±.051 mm (±.0020 in.)	±.064 mm (±.0025 in.)	9.30 kg (20.5 lbs.)	9.50 kg (21 lbs.)
Fusion 2.4 m (8 ft.)	.043 mm (.0017 in.)	.051 mm (.0020 in.)	±.061 mm (±.0024 in.)	±.071 mm (±.0028 in.)	9.50 kg (21.0 lbs.)	9.75 kg (21.5 lbs.)
Fusion 3.0 m (10 ft.)	.074 mm (.0029 in.)	.089 mm (.0035 in.)	±.104 mm (±.0041 in.)	±.124 mm (±.0049 in.)	9.75 kg (21.5 lbs.)	9.98 kg (22 lbs.)
Fusion 3.7 m (12 ft.)	.104 mm (.0041 in.)	.124 mm (.0049 in.)	±.147 mm (±.0058 in.)	±.175 mm (±.0069 in.)	9.98 kg (22.0 lbs.)	10.21 kg (22.5 lbs.)

Obrázek 3. Specifikace série Arm Fusion [1]

### 1.1.3 FARO Arm Prime

Měřicí ramena FARO Prime jsou dostupná pouze v šestiosém provedení, určená pro přesné, rychlé a mobilní dotekové měření. Bezdrátové rozhraní Bluetooth eliminuje nutnost kabelového připojení ramene k počítači. Baterie s prodlouženou životností a osvědčená konstrukce měřicího ramene z kompozitních materiálů činí FARO Prime ideálním systémem pro jednoduchá měření, pokročilá vyhodnocení na základě porovnání s CAD modely, reverse engineering a všude tam, kde je třeba měřit přesně a mobilně.[1]

Nejčastější použití:

- Letecká výroba: inspekce dílů, vyrovnání, nastavování nářadí a forem
- Automobilová výroba: měření dílů, vyrovnání, nastavování přípravků a forem
- Kovovýroba: inspekce prvních kusů, měření v sériové i kusové výrobě
- Výroba forem: kontrola dílů a forem, skenování a vytváření prototypů



Měřicí rozsah		Opakovatelnost	Délková přesnost	Hmotnost
Počet os		δ	δ	δ
Prime	1,2m (4ft.)	0,016mm (0,0006in.)	±0,023mm (±0,0009in.)	9,1kg (20,0lbs.)
Prime	1,8m (6ft.)	0,019mm (0,0007in.)	±0,027mm (±0,0011in.)	9,3kg (20,5lbs.)
Prime	2,4m (8ft.)	0,024mm (0,0009in.)	±0,034mm (±0,0013in.)	9,5kg (21,0lbs.)
Prime	3,0m (10ft.)	0,042mm (0,0017in.)	±0,059mm (±0,0023in.)	9,75kg (21,5lbs.)
Prime	3,7m (12ft.)	0,060mm (0,0024in.)	±0,085mm (±0,0033in.)	9,98kg (22,0lbs.)

Obrázek 4. Specifikace série Arm Prime [1]

## 2 CHYBY MĚŘENÍ

Pokud se provádí měření stejné veličiny za stejných podmínek několikrát za sebou, dostaneme většinou rozdílné hodnoty. Měřená veličina má ovšem pouze jednu správnou hodnotu. Výsledek měření je tedy takzvaná náhodná veličina. Osoba provádějící měření, by se měla ujistit o správnosti měření a provádět je a zpracovávat s co nejmenšími chybami. Hlavními příčinou, kvůli které dochází k chybám měření, jsou nedokonalost a nespolehlivost lidského faktoru, nedokonalost a nespolehlivost měřících přístrojů, špatně zvolená metoda a zanedbávání okolních vlivů na měření. Chyby měření dělíme na systematické, hrubé a náhodné.[4]

### 2.1 Chyba absolutní

Chyba absolutní může být jak kladného, tak i záporného smyslu. Má rozměr měřené veličiny a tím i stejné jednotky. Absolutní chybou měření  $\Delta X$  se rozumí rozdíl mezi skutečnou hodnotou  $X$  a naměřenou hodnotou  $X'$ . [4]

$$\Delta X = X - X' \quad (1)$$

### 2.2 Chyba relativní

Chyba relativní je bezrozměrná veličina a většinou se uvádí v procentech. Stejně jako v případě chyby absolutní může nabývat jak kladného, tak i záporného smyslu. S pomocí relativních chyb lze porovnávat přesnost měření veličiny s různým rozměrem. Relativní chybou  $\delta$  se rozumí poměr absolutní chyby  $\Delta X$  ke skutečné hodnotě  $X$ . [4]

$$\delta = \Delta X / X \quad (2)$$

### 2.3 Chyba systematická

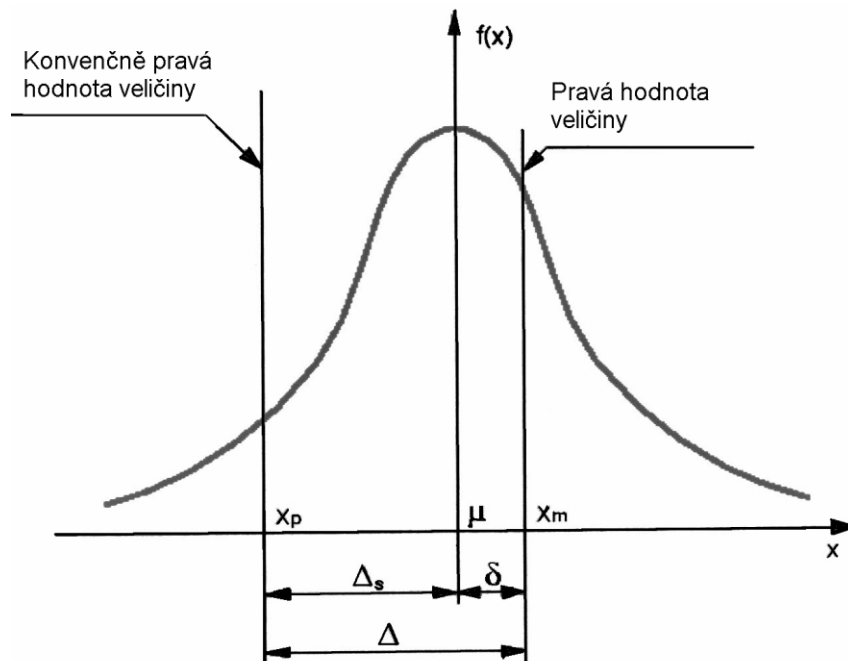
Tyto chyby zkreslují výsledek měření zcela určitým způsobem a jsou s jistou pravidelností. Obvykle se projevují tak, že vedou k hodnotám, které jsou trvale vyšší nebo nižší než je správná hodnota. Systematická chyba se může přičítat, nebo odečítat od měřené hodnoty. Mění se časem v důsledku stárnutí měřícího přístroje. Pokud je chyba známá může se matematicky vyloučit. Po korekci dat je systematická chyba vyloučena a jsou získány správné výsledky měření. Odhalení systematické chyby může být náročné, a to zdali chyba systematická nevyplývá přímo z metody měření. [4]

## 2.4 Hrubá chyba

Hrubá chyba je způsobena výjimečnou příčinou. Může se jednat o chybné zapsání výsledku, náhodnou poruchu měřidla, špatný odečet naměřené hodnoty. Naměřená hodnota je zcela odlišná od ostatních hodnot, které byly naměřeny. Takovou hodnotu je třeba vyloučit, aby nezkrusovala naměřený výsledek.[4]

## 2.5 Náhodná chyba

Náhodné chyby působí nahodile, jsou těžko předvídatelné a nelze je vyloučit. Při opakování měření se mění jejich velikost a znaménko, jak odpovídá předpokládanému zákonu rozdělení. Pro určení jejich velikosti se vychází z opakovaných měření s použitím statistické



Obrázek 5. Grafické vyjádření chyb měření. Absolutní chyba  $\Delta$ , Náhodná chyba  $\delta$ , Systematická chyba  $\Delta_s$  [4]

kých metod, odpovídajících patřičnému pravděpodobnostnímu modelu, reprezentovanému zákonem rozdělení příslušné náhodné chyby. V praxi jde především o rozdělení normální – Gaussovo, které se používá ve většině aplikací. Výsledek měření, stanovený ze souboru opakovaných měření realizovaných za stejných podmínek, je reprezentován aritmetickým průměrem získaným při  $n$  opakováních z hodnot  $y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n$ , tj. [4]

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3)$$

## 2.6 Zdroje chyb měření.

Chyby měření můžou být způsobeny různými zdroji. Jako jsou například chybně zvolená metodika měření, špatně zvolené měřidlo a nedokonalostí pozorovatele. [5]

### 2.6.1 Chyby, jejichž příčinou je použitá metoda.

Vznik těchto chyb je způsoben nedokonalostí, nepřesností, neúplností nebo nevhodností použitého způsobu měření. Často se stává, že použitá metoda měření, odpovídá daná definici měřené veličiny, kterou však při měření nelze plně respektovat. Příkladem může být měření průměru díry pomocí posuvného měřítka, místo použití dutinoměru. Chyba se může odstranit použitím jiné metody, nebo korigovat pomocí výpočtu.[5]

### 2.6.2 Chyby, jejichž příčinou je použité měřidlo.

Vznik těchto chyb je způsoben nedokonalostí a nepřesností použitého měřidla. U měřících přístrojů s noniovou stupnicí může být nepřesnost vyraženého pravítka. U digitálních přístrojů například špatně nalepené pravítko či poškozená odečítací jednotka. Chybu lze odstranit zavedením příslušných korekcí měřicího přístroje.[5]

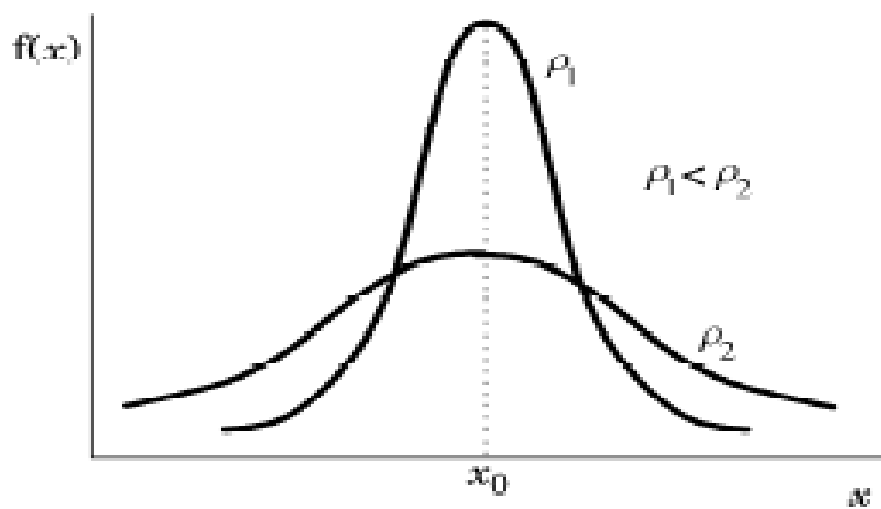
### 2.6.3 Chyby, jejichž příčinou je pozorovatel.

Vznik této chyby je zapříčiněn tím kdo dané měření prováděl. Chyby se nejčastěji vyskytují u měření délek a času. Vznik těchto chyb je významně závislý na pozorovateli. Lze je vyloučit použitím jiného pozorovatele, nebo navýšením počtu pozorovatelů.[5]

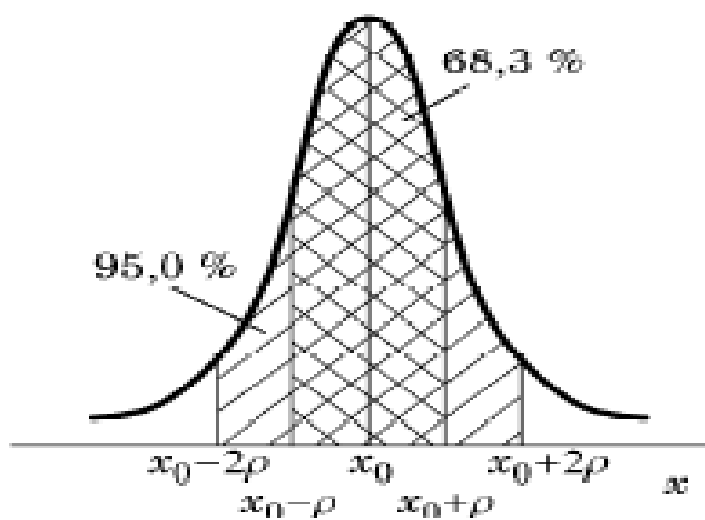
## 2.7 Veličiny a výrazy spojené s chybami

K určení chyb se nejčastěji pracuje s těmito veličinami. Směrodatná chyba nám udává interval, v jakém se pro Gaussovo rozložení naměřených hodnot každého jednotlivého měření vyskytne s pravděpodobností 68 %, výsledek měření pak uvádíme pomocí chyby měření výrazem  $\bar{x} \pm \bar{p}$ .

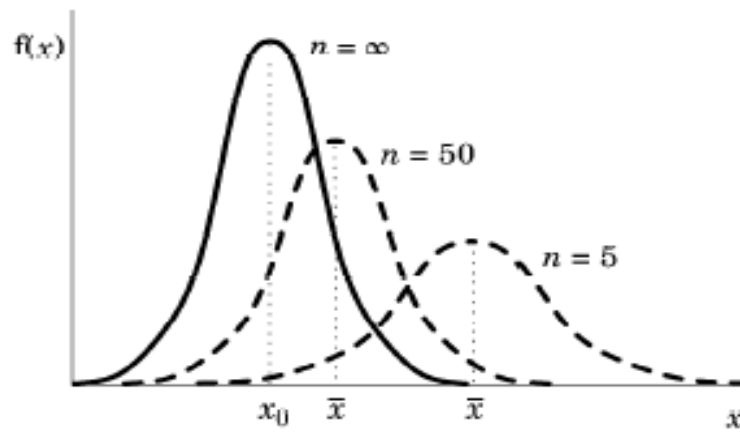
Pravděpodobná chyba aritmetického průměru  $\bar{\theta}$  definuje takový  $\pm\bar{\theta}$  interval kolem pravděpodobné hodnoty  $\bar{x}$ , že správná hodnota  $X$  leží s 50% pravděpodobností v tomto intervalu. Protože poloviční jistota někdy nestačí, zavádíme také krajní chybu měření  $K$ , což je interval, v jehož rozmezí se nachází správná hodnota s pravděpodobností 99.73 %.[4]



Obrázek 6. Gaussovo rozdělení. [5]



Obrázek 7. Intervaly pravděpodobnosti. [5]



Obrázek 8. Vliv počtu měření  $n$  na hodnotu  $\bar{x}$ . [5]

### 3 NEJISTOTA MĚŘENÍ

Je parametr, přidružený k výsledku měření, který charakterizuje rozptýlení hodnot, jež mohou být odůvodněně prisuzovány k měřené veličině. Rozsah hodnot pro měřenou veličinu typicky představuje hodnoty získané za podmínek opakovatelnosti, ale může rovněž zahrnovat hodnoty získané za podmínek opakovatelnosti, např. jinou obsluhou, v jiné laboratoři, nebo jiným postupem měření, které zahrnují vychýlení mezi obsluhami, laboratořemi a postupy měření. Rozdíly ve zpracování údajů mohou kromě toho rovněž přispět k tomuto rozptýlení. Také měřená veličina nemusí být definována zcela přesně, aby k ní mohla být prisouzena jediná pravá hodnota. Pokud se neukáže, že různé hodnoty získané experimentálně nebo odvozené výpočtem nebo teoreticky jsou nesprávné, musí být všechny přiřazeny k měřené veličině. Nejistota je míra šířky rozsahu odvozeného z těchto údajů a spolu s příslušnou střední hodnotou jako výsledkem měření popisuje úroveň znalostí o měřené veličině. [6]

#### 3.1 Standartní nejistota typu A

Je způsobena náhodnými vlivy (příčiny jejich vzniku jsou neznámy). Standardní nejistota typu A se stanoví z opakovaných měření stejné hodnoty za stále stejných podmínek statistickým přístupem a označují se  $u_A$ . Nejistoty typu A se zmenšují se zvětšujícím počtem opakovaných měření. [6]

##### 3.1.1 Určení standartní nejistoty typu A

Standardní nejistota typu A při přímém měření se stanoví z  $n$  opakovaných a nezávislých měření stejné hodnoty a za stejných podmínek. Odhad hodnoty měřené veličiny  $X$  je dán výběrovým průměrem  $\bar{x}$  z naměřených hodnot  $x_1, x_2, \dots, x_n$

Výběrový průměr  $\bar{x}$  se určí ze vztahu:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

Výběrová směrodatná odchylka  $s_x$  se vypočítá z naměřených hodnot (náhodného výběru) ze vztahu:

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

Výběrová směrodatná odchylka charakterizuje rozptýlení naměřených hodnot kolem výběrového průměru  $\bar{x}$ . Výběrový průměr udává odhad hodnoty měřené veličiny a protože se určuje z náhodného výběru má jeho velikost náhodný charakter. Rozptyl výběrových průměrů se stanoví z:

$$s_{\bar{x}}^2 = \frac{1}{n} s_x^2 \quad (6)$$

a výběrová směrodatná odchylka výběrových průměrů  $s_{\bar{x}}$  je dána odmocninou předcházející rovnice:

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n} s_x^2} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

Výběrová směrodatná odchylka výběrových průměrů  $s_{\bar{x}}$  charakterizuje rozptyl hodnot výběrových průměrů  $\bar{x}$  a je proto zvolena jako míra nejistoty udávané hodnoty měřené veličiny (výsledku měření).

Standardní nejistota typu A je v tomto případě rovna výběrové směrodatné odchylce výběrových průměrů  $s_{\bar{x}}$

$$u_{xA} = s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (8)$$



Pokud je počet opakovaných měření menší než 10 a není možné učinit kvalifikovaný odhad na základě zkušeností, lze standardní nejistotu typu A stanovit dle vzorce:

$$u_{xA} = k_s \cdot s_{\bar{x}} \quad (9)$$

kde  $k_s$  je koeficient jehož velikost závisí na počtu měření  $n$ , jak ukazuje následující tabulka:

Tabulka 1. Závislost koeficientu  $k_s$  na počtu měření  $n$

n	9	8	7	6	5	4	3	2
$k_s$	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,7	2,3	7,0

### 3.2 Standartní nejistota typu B

Metoda vyhodnocování nejistot typu B  $u_B$  je založena, na jiných než statistických metodách analýzy série pozorování. Tato metoda je podobná systematickým chybám, ale lze ji používat i pro odhad vlivu náhodných chyb. Standardní nejistota typu B se určuje pomocí racionálního úsudku na základě všech dostupných informací, například pomocí údajů výrobce měřidla, zkušeností z předchozích sérií měření, údajů získané kalibrací a z certifikátů nebo nejistot referenčních údajů převzatých z příruček. [6]

Stanovení nejistot typu B je obtížnější než stanovení nejistot typu A. Vychází hlavně ze zkušeností a praxe. Správným postupem je možné dojít ke stejně spolehlivé hodnotě nejistoty jako při použití nejistot typu A, zejména pokud bylo pro stanovení nejistot typu A použito relativně malého počtu statisticky nezávislých pozorování. [6]

#### 3.2.1 Určení standartní nejistoty typu B

Při určování standartní nejistoty typu B se postupuje dle následujících kroků:

- vytipují se možné zdroje nejistot  $Z_1, \dots, Z_j, \dots, Z_m$ ,
- určí se standartní nejistoty typu B  $u_{zj}$  každého zdroje nejistoty,

- stanovené nejistoty  $u_{zj}$  od jednotlivých zdrojů se přepočítají na odpovídající složky nejistoty měřené veličiny  $u_{xzj}$ ,
- posoudí se možné korelace mezi jednotlivými zdroji nejistot typu B a odhadnou se jejich korelační koeficienty  $r_{zjk}$  z rozsahu  $\langle +1, -1 \rangle$ ,
- vypočítá se celková standardní nejistota typu B  $u_B$ .

### 3.2.2 Vytipování možných zdrojů nejistot

Zdroje nejistot při měření jsou způsobovány: nedokonalými měřicími přístroji a použitou měřicí technikou, použitými měřicími metodami, podmínkami v nichž měření probíhá, nepřesnými údaji použitých fyzikálních konstant, způsoby vyhodnocování, ale i nedostatečnými a teoretickými znalostmi a praktickými zkušenostmi experimentátora. Při měření geometrických veličin patří mezi nejvýznamnější zdroje nejistot nejistota etalonu, nejistota měřidla, nejistota vlivem teploty a jiné. [7]

### 3.2.3 Určení standardní nejistoty typu B $u_{zj}$ jednotlivých zdrojů.

Odhad standardních nejistot typu B od jednotlivých zdrojů nejistot  $Z_j$  se provádí následovně:

- odhadne se maximální rozsah změn  $\pm \Delta z_{\max}$ , např. od jmenovité hodnoty, velikost  $\Delta z_{\max}$  se volí taková, aby její překročení bylo velmi málo pravděpodobné
- uváží se, které rozdělení pravděpodobnosti nejlépe vystihuje výskyt hodnot v intervalu  $\pm \Delta z_{\max}$  (viz příloha č.1)
- určí se nejistoty typu B jednotlivých zdrojů  $Z_j$  ze vztahu:

$$u_{zB} = \frac{\Delta z_{\max}}{\chi} \quad (10)$$

kde  $\chi$  se odečte z tabulky pro zvolené rozdělení, konstanta  $\chi$  udává poměr maximální hodnoty  $\Delta z_{\max}$  ku směrodatné odchylce zvoleného rozdělení:

$$\chi = \frac{z_{\max}}{s_z(\sigma_z)} \quad (11)$$

Volba rozdělení pravděpodobností odchylek  $\Delta z$  vychází z teoretických znalostí, zkušeností nebo jinak získaných poznatků o rozdělení velikostí  $\Delta z$ . Jestliže lze předpokládat, že pravděpodobnost výskytu  $\Delta z$  se se zvětšující hodnotou  $\Delta z$  rychle zmenšuje a největší pravděpodobnost mají hodnoty  $\Delta z$  kolem nuly, pak se volí většinou normální rozdělení. Je-li pokles pravděpodobnosti se zvětšujícím se  $\Delta z$  přibližně lineární, volí se trojúhelníkové (Simpsonovo) rozdělení. V případě, že pravděpodobnost výskytu malých hodnot je malá a hodnot  $\Delta z$  blízcích se  $\pm \Delta z_{\max}$  velká, použije se některé bimodální rozdělení. Není-li možné odpovědně rozhodnout o rozdělení pravděpodobnosti hodnot  $\Delta z$  a může-li se vyjít z předpokladu, že všechny hodnoty  $\Delta z$  v daném intervalu se mohou vyskytovat se stejnou pravděpodobností, pak se volí rovnoměrné rozdělení. Tento případ bývá volen nejčastěji, i když přináší největší nejistoty, ale je nejjednodušší. [6]

Pro rovnoměrné rozdělení  $\Delta z$  je výběrový rozptyl výběrových průměrů

$$s^2_{\bar{z}_j} = \frac{a^2}{3} \quad (12)$$

Pro trojúhelníkové rozdělení  $\Delta z$  je výběrový rozptyl výběrových průměrů

$$s^2_{\bar{z}_j} = \frac{a^2}{6} \quad (13)$$

Pro normální rozdělení  $\Delta z$  je výběrový rozptyl výběrových průměrů

$$s^2_{\bar{z}_j} = \frac{a^2}{9} \quad (\text{P}=99,73\%) \quad (14)$$

### 3.2.4 Přepočítání stanovené nejistoty $u_{z_j}$

Přepočítání stanovené nejistoty  $u_{z_j}$  od jednotlivých zdrojů nejistot na odpovídající složky nejistoty měřené veličiny  $u_{x_{z_j}}$ . [6]

Odhadnuté nejistoty  $u_{z_j}$  od jednotlivých zdrojů  $Z_j$  se předávají přes funkční závislost  $X = f(Z_1, \dots, Z_j, \dots, Z_m)$  do nejistoty hodnoty měřené veličiny  $X$ . Přepočítání odhadnutých nejistot  $u_{z_j}$  od zdrojů  $Z_j$  se provádí podle vztahu:

$$u_{x, z_j} = A_{x, z_j} \cdot u_{z_j} \quad (15)$$

kde  $A_{x, zj}$  se stanoví ze závislosti  $X$  na zdroji  $Z_j$  dle vztahu:

$$A_{x, zj} = \frac{\partial X}{\partial Z_j} \quad (16)$$

Pokud závislost  $X = f(Z)$  není známa, stanoví se  $A_{x, zj}$  experimentálně tak, že se změní hodnota  $\Delta x_{zj}$  odpovídající změně  $\Delta z_j$ .  $A_{x, zj}$  se vypočítá ze vztahu:

$$A_{x, zj} = \frac{\Delta x_{zj}}{\Delta z_j} \quad (17)$$

Posouzení možné korelace mezi jednotlivými zdroji nejistot typu B a odhad korelačních koeficientů  $r_{zjk}$  z rozsahu  $\langle +1, -1 \rangle$ . Při přímém měření jedné veličiny lze předpokládat, že korelace mezi jednotlivými zdroji nejistot typu B jsou zpravidla zanedbatelné. [6]

### 3.2.5 Výpočet celkové standardní nejistoty typu B $u_B$ .

Výsledná standardní nejistota typu B se stanoví z výrazu:

$$u_{xB} = \sqrt{\sum_{j=1}^m u_{x, zj}^2} = \sqrt{\sum_{j=1}^m A_{x, zj}^2 \cdot u_{zj}^2} \quad (18)$$

## 3.3 Kombinovaná nejistota

V praxi většinou nedostačuje použít pouze nejistoty typu A  $u_{xA}$  nebo B  $u_{xB}$  samostatně. Proto se využívá kombinované nejistoty typu A i B. Výsledná kombinovaná nejistota se označuje  $u_x$ , spočítá se jako odmocnina součtu čtverců nejistot typu A a B. Tímto je získána hodnota obsahující obě nejistoty. [6]

Kombinovaná standardní nejistota při přímém měření se určí ze vztahu:

$$u_x = \sqrt{u_{xA}^2 + u_{xB}^2} \quad (19)$$

Z výše uvedeného vzorce je patrné, že ne vždy je nutné pozorovat oba typy nejistot. Je-li možné prokázat, že podíl některé složky je vůči druhé výrazně menší, je možné předpoklá-

dat, že se tato složka díky součtovému vztahu výrazně neprojeví. Tohoto lze využít, liší-li se obě složky o řád. Některé národní předpisy Evropských států dokonce připouští vyloučení některé ze složek už při čtyřnásobném rozdílu. [6]

### 3.4 Rozšířená kombinovaná nejistota

Rozšířená standardní nejistota  $U_x$  se používá místo kombinované standardní nejistoty tam, kde se požaduje velká pravděpodobnost výskytu skutečné hodnoty v intervalu  $(x - U_x), (x + U_x)$ . Pro určení rozšířené standardní nejistoty  $U_x$  bylo navrženo několik metod, které jsou většinou založeny na násobku kombinované nejistoty  $u_x$  :

$$U_x = k_U \cdot u_x \quad (20)$$

kde  $k_U$  je koeficient rozšíření (pokrytí).

Velikost koeficientu rozšíření  $k_U$  se určuje:

- konvencí,
- výpočtem z údajů získaných při realizaci daného měření.

Konvenčně dané hodnoty  $k_U$  bývají od 2 do 3, většinou se doporučuje volit  $k_U = 2$ . Velikost  $k_U$  bývá uvedena v technických normách a předpisech, v technické dokumentaci, popřípadě ve vzájemných dohodách. Nejčastěji používané hodnoty koeficientu rozšíření  $k_U$  jsou uvedeny v následující tabulce. [6]

Tabulka 2. Koeficient rozšíření s pravděpodobností pokrytí.

Pravděpodobnost	Koeficient rozšíření $k_U$	Poznámka
68 %	1	
95%	2	Nejčastěji používaná hodnota
99%	2,58	

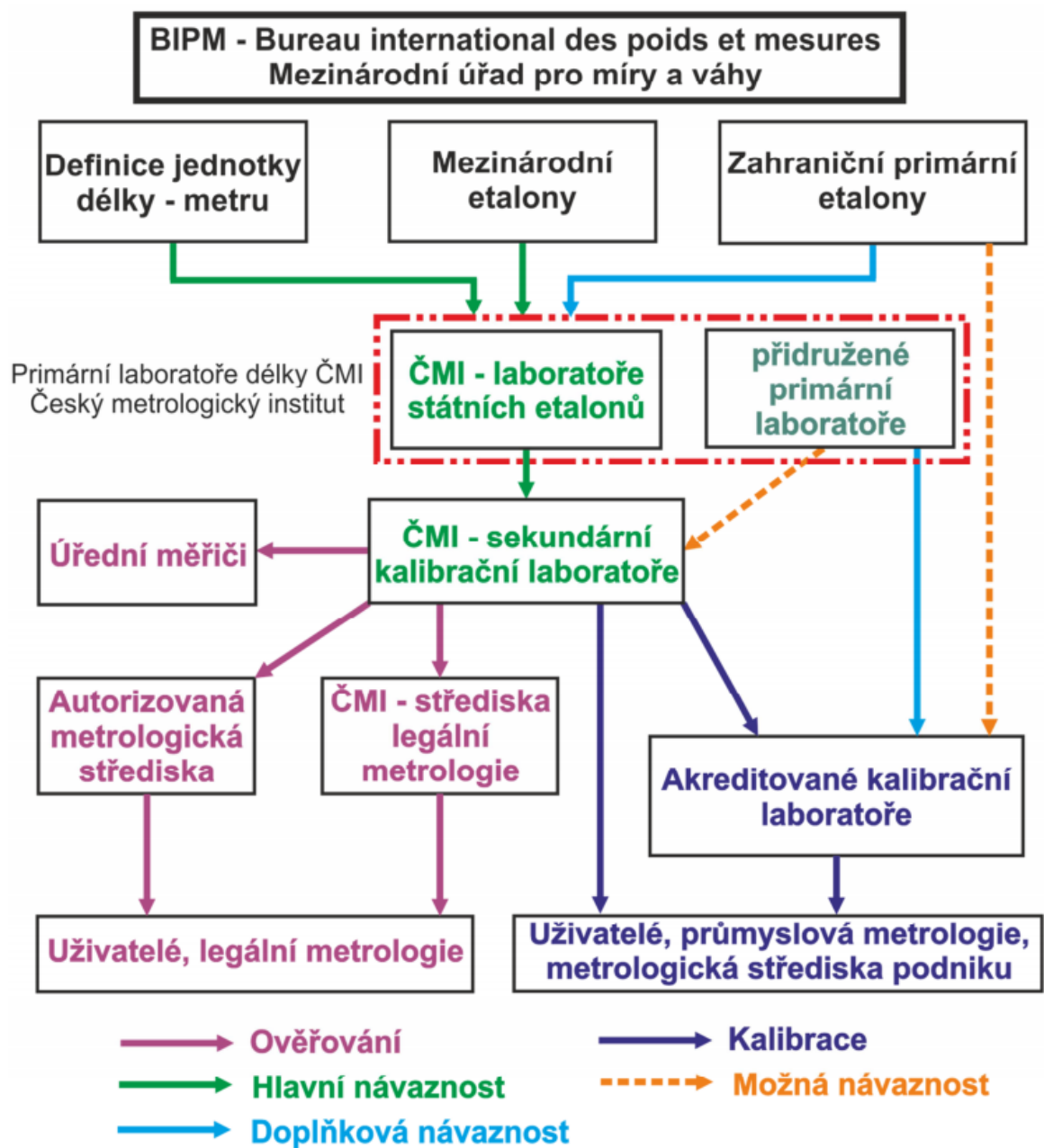
Pokud nejsou splněny podmínky normality rozdělení, nebo dostatečné spolehlivosti, může se stát, že při použití koeficientu rozšíření  $k_U = 2$  bude odpovídající pokrytí pravděpodobnosti menší než 95%. Potom je nutné použít jiné postupy a zajistit aby rozšířená nejistota  $U$  odpovídala stejné pravděpodobnosti pokrytí jako ve standardních případech. Použití přibližně stejné pravděpodobnosti je nezbytně nutné zejména v těch případech, kdy je zapotřebí porovnat mezilaboratorní výsledky, rozhodnout o shodě se zadanou hodnotou nebo zjištění zda je naměřená hodnota v souladu s určitými specifiky. [6]

## 4 METROLOGICKÁ NÁVAZNOST MĚŘIDEL

Návazností měřidel se pro účely tohoto zákona rozumí zařazení daných měřidel do nepřerušované posloupnosti přenosu hodnoty veličiny začínající etalonem nejvyšší metrologické kvality pro daný účel. Státní schémata návaznosti pro daný obor měření může stanovit Úřad. Způsob další návaznosti pracovních měřidel používaných v organizaci si stanoví organizace sama. [8]

Státní etalony mají pro daný obor měření nejvyšší metrologickou kvalitu ve státě. Schvaluje je Úřad, který taktéž stanoví způsob jejich tvorby, uchovávání a používání. Státní etalony jsou uchovávány metrologickými orgány a jsou navazovány především na mezinárodní etalony, uchovávané podle mezinárodních smluv, nebo na etalony jiných států ve stejné metrologické kvalitě. [8]

Pro další etalony nejvyšší metrologické kvality ve státě v oborech měření, kde není schválen státní etalon, platí ustanovení odstavce dva obdobně. K ochraně státních etalonů může být zařízeno v okruhu jejich uchovávání ochranné pásmo podle zvláštních předpisů. Ostatní etalony metrologických orgánů spadají pod státní metrologickou kontrolu v rozsahu stanoveném Úřadem. Hlavní etalony organizací jsou etalony, které především tvoří základ návaznosti měřidel v organizaci. Organizace může zařadit do návaznosti mezi hlavní etalony a pracovní měřidla pracovní etalony, nebo si užívaných měřidel a pracovních etalonů zajistit pomocí etalonů metrologických orgánů a středisek kalibrační služby (§ 20), se souhlasem Úřadu i jinde. Hlavní etalony v oborech měření, ve kterých jsou vyhlášena stanovená měřidla, podléhají povinnému ověření. Dobu platnosti ověření jednotlivého hlavního etalonu stanoví ověřujících metrologický orgán podle metrologických a technických vlastností i způsobu a četnosti používání tohoto etalonu s přihlédnutím k požadavku organizace, která etalon předložila k ověření. [8]



Obrázek 9. Metrologická návaznost měřidel. [9]

#### 4.1 Etalon

Etalon měřící jednotky anebo stupnice určité veličiny je měřidlo sloužící k realizaci a uchování této jednotky nebo stupnice a k jejímu přenesení na měřidla nižší přesnosti. [8]

V oblasti této kategorie měřidel definuje zákon státní etalony jako etalony, které mají pro příslušný obor měření nejvyšší metrologickou kvalitu ve státě. Tyto etalony schvaluje Úřad, který stanoví způsob jejich tvorby, uchování a používání. Za jejich tvorbu, rozvoj



a udržování odpovídá stát. Státní etalony uchovává ČMI nebo oprávněné subjekty, které Úřad pověřil k této činnosti. [8]

Podskupinou kategorie etalonů jsou především hlavní etalony. Tyto etalony tvoří základ návaznosti měřidel u subjektů a podléhají povinné kalibraci prováděné v ČMI nebo jiné akreditované kalibrační laboratoři, popřípadě v zahraničním subjektu, které zaručují srovnatelnou, nebo vyšší metrologickou úroveň. [8]

Prvotní kalibraci dovážených etalonů zajišťuje jejich uživatel, pokud již nebyla zajištěna dovozcem, zahraničním výrobcem, nebo akreditovaným zahraničním subjektem. [8]

Dobu následující kalibrace hlavního etalonu stanoví uživatel tohoto hlavního etalonu podle metrologických a technických vlastností, způsobu a četnosti používání hlavního etalonu. Je-li ČMI požádán o kalibraci hlavního etalonu v oboru měření, ve kterém jsou vyhlášena stanovená měřidla, je povinen ji buď provést, anebo může tuto kalibraci zprostředkovat v zahraničním subjektu. [8]

U měřidel (tedy i etalonů), pokud jsou používána za okolností, kdy nesprávným měřením mohou být významně poškozeny zájmy osob, je poškozená strana oprávněna vyžádat si jejich kalibraci a vydání osvědčení o výsledku. [8]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 ÚVOD DO PROBLEMATIKY MĚŘÍCÍCH RAMEN

Ve zrychlujícím se průmyslu je potřeba vyvíjet nové moderní technologie měření. To vytváří nové výzvy pro výrobce souřadnicových měřících strojů. Neustále se zvyšující požadavky na kvalitu produktu nutí výrobce pro čím dál rychlejší systémy měření. Koncový zákazník v dnešní době hledá jednoduché, efektivní a levné řešení, které odpovídá požadavkům v tomto průmyslovém odvětví. Jako příklad by mohla být souřadnicová měřící ramena, která jsou moderní, mobilní a mají snadnou ovladatelnost. Jejich hlavní výhodou je, že dosáhnou nekonečného počtu snímaných bodů v rozmezí jejich délky. Měřící ramena se používají především pro ověření správnosti konkrétní sestavy, a jiných méně přesných měření. Proto je nutné, aby měřící rameno měřilo správně. V této diplomové práci se zabývám návrhem postupu pro kalibraci měřícího ramene značky FARO. V dnešní době není v žádné normě popsán přesný postup kalibrace měřících ramen, proto se vynasnažím navrhnout postup kalibrace. Budu vycházet z norem používaných pro souřadnicové měřící stroje všeobecně a doporučeními výrobce. Dále bych chtěl navrhnout zlepšovací pomůcky pro kalibraci ramene. Do současné doby se kalibrace ramene prováděla pouze na koncové měřky, a to jen v základních osách jako u jiných souřadnicových měřících strojů. Mnou navrhované řešení počítá s kalibrací na otočném stojanu v prostoru, tak aby bylo možno snímat všechny osy i natočení těchto os v prostoru. Dále kalibraci provádím ve více kvadrantech. Následně vyhodnotím opakovatelnost a vzdálenost dvou středů koule pomocí etalonu měřící tyče s koulemi. Nakonec provedu měření na KOBASTEP, a ještě průměr koule. V druhé části se zabývám kalibrací měřících přípravků pomocí měřícího ramene. Hlavním úkolem je vypracování kalibračního postupu k těmto dvěma kalibracím a následné vypracování kalibračního listu z reálné kalibrace.

## 6 NÁLEŽITOSTI POTŘEBNÉ K VYPRACOVÁNÍ KALIBRAČNÍHO POSTUPU

K vypracování správného kalibračního postupu se musí splnit určité náležitosti a to jsou:

- Předmět kalibrace
- Odkazy na normy a navazující předpisy
- Oblast platnosti a kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci
- Názvosloví, definice, použité zkratky
- Prostředky potřebné pro kalibraci
- Obecné podmínky kalibrace
- Vlastní kalibrace
- Přílohy

### 6.1 Předmět kalibrace

Jde o předmět kalibrace. V této diplomové práci se bude jednat o souřadnicové měřicí rameno značky FARO a měřidlo měřené na souřadnicovém měřicím stroji FARO.



Obrázek 10. Měřidlo měřené na souřadnicovém měřicím stroji FARO



Obrázek 11. Rameno FARO

## 6.2 Odkazy na normy a navazující předpisy

U tohoto bodu se uvádí odkazy na normy, předpisy či návody. Muže se jednat jak o externí tak interní normy podniku. Návody jsou především u složitějších systémů, jako jsou souřadnicové měřicí stroje, nebo stroje jednoúčelové například pro měření čárkových měřitek.

## 6.3 Oblast platnosti a kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Oblast platnosti se myslí prostory, které jsou určeny pro kalibraci měřidla. Jedná se o prostory laboratoře, nebo prostory u zákazníka. V prostorách naší laboratoře máme předem určené místo pro kalibraci měřícího ramene. Jedná se o stůl s granitovou deskou, do které

je zabudován upínací systém pro FARO ramena. Dále jsou v desce instalovány matice pro upnutí příslušenství na kalibraci. V prostorech zákazníka je rameno umístěno na stativ a může se pomocí něj kalibrovat měřidlo měřené pomocí měřicího ramene.

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci musí být přesně specifikována. A mají certifikát, že mohou daný druh kalibrace vykonávat. U kalibrace FARO ramene se jedná o délkové měření a příslušný kalibrační technik dostává certifikát od kalibrační laboratoře.

#### **6.4 Názvosloví, definice, použité zkratky**

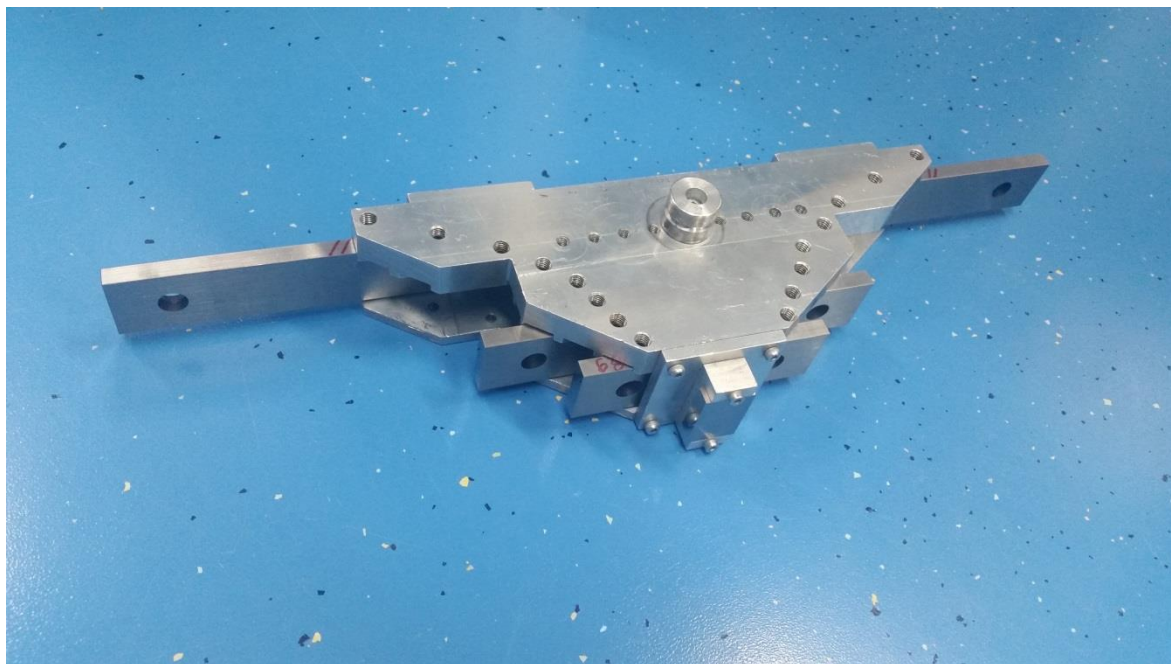
Tato náležitost kalibračního postupu zahrnuje seznamy názvosloví, definic a použitých zkratk.

#### **6.5 Prostředky potřebné pro kalibraci**

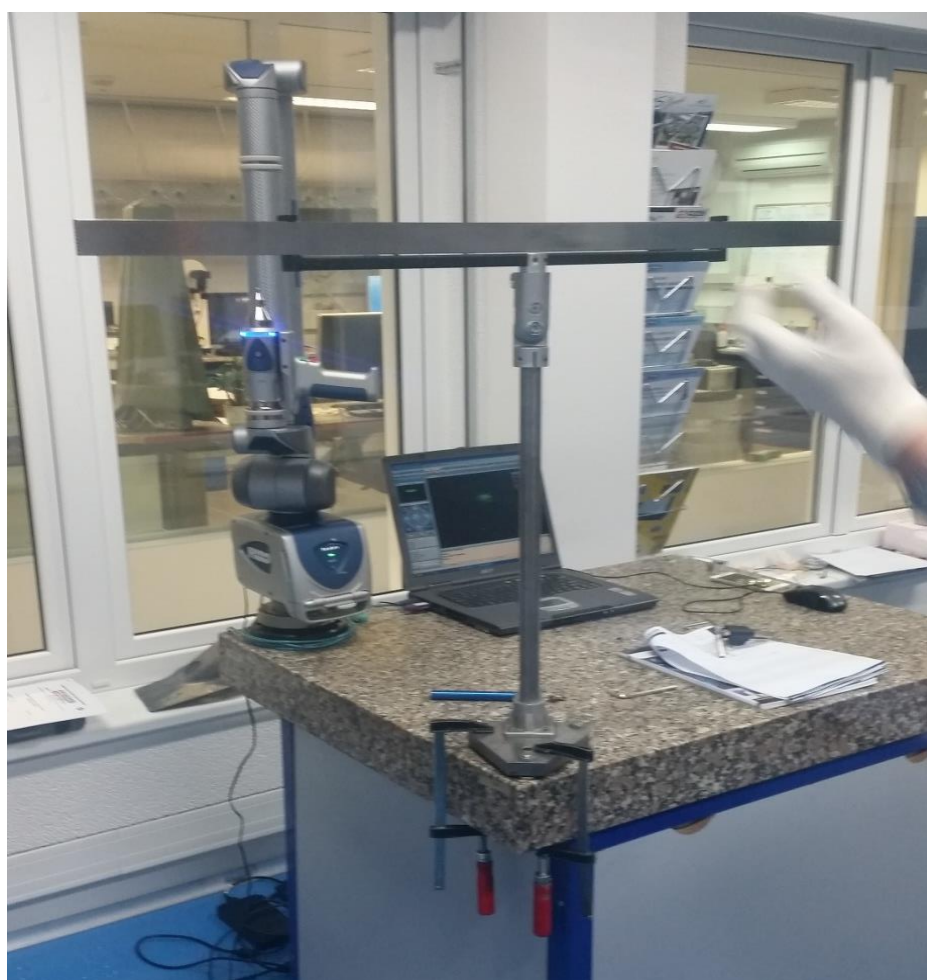
Zde je výčet potřebných prostředků pro kalibraci.

U kalibrace měřících ramen to máme tyto:

- Měřící rameno FARO
- koncová měrka - sada,
- přípravek na uchycení koncových měrek (viz Obr. 12 a Obr. 13),
- kalibrační koule ( $\emptyset$  koule musí ležet v intervalu 10 až 50 mm) s držákem,
- teploměr,
- tyč s koulemi(viz Obr.14),
- kužel na test opakovatelnosti,
- hmotný etalon délky-"koba step"(viz Obr. 15 a Obr. 16),
- mobilní stojan na upnutí ramene(viz Obr.17),
- přípravky na čištění,
- dále veškeré dokumenty, které jsou potřebné pro kalibrace měřicího ramene



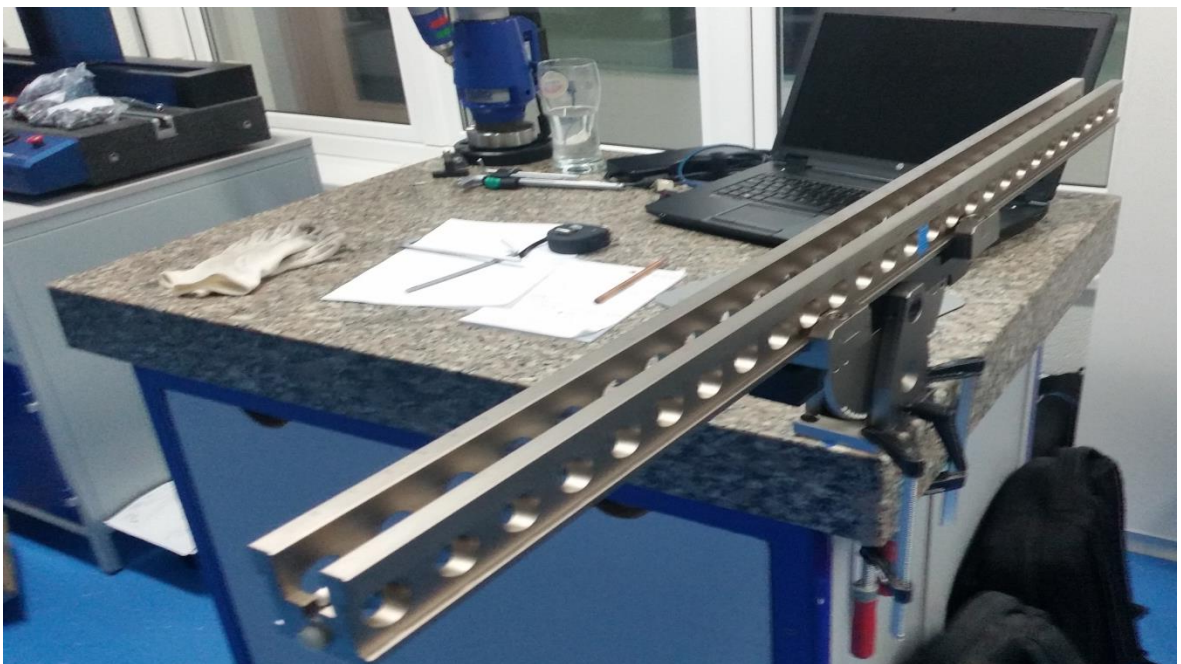
Obrázek 13. Přípravek na uchycení koncových měrek.



Obrázek 12. Přípravek na metrovou měрку.



Obrázek 14. Tyč s koulemi.



Obrázek 15. Hmotný etalon délky Koba step.





Obrázek 16. Hmotný etalon délky Koba step.



Obrázek 17. Mobilní stojan na upnutí ramene.

## 6.6 Obecné podmínky kalibrace

V této části kalibračního postupu jsou určeny podmínky, za kterých jde kalibrace provádět. Jsou zde většinou požadavky na teplotu prostředí její kolísání a vlhkost vzduchu. Je zde taky určena doba temperace jednotlivých zařízení, nebo měřidel.

## 6.7 Vlastní kalibrace

Provádění kalibrací musí mít určité pořadí jednotlivých úkonů co má kalibrační technik vykonat. V tomto bodu kalibračního postupu je popsán přesný návod jak správně postupovat při kalibraci. Jsou zde rozepsány jednotlivé body samotné kalibrace.

## 6.8 Přílohy

Přílohy obsahují většinou tyto položky:

- Výpočet měřicí schopnosti kalibrace
- Validace kalibračního postupu
- Příklad výpočtu nejistoty měření

## 7 VYPRACOVÁNÍ KALIBRAČNÍHO POSTUPU PRO SMS

### 7.1 Předmět kalibrace

Tento kalibrační postup se vztahuje na kalibraci souřadnicových měřících strojů dotykovou sondou a multisenzorových měřících strojů ovládaných ručně do rozsahu měřícího ramene 1500 mm ( poloměru koule).

### 7.2 Odkazy na normy a navazující předpisy

#### 7.2.1 Externí

ČSN 01 0115	Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii
ČSN 01 0360	Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřící vybavení. (ČSN ISO 10 012)
ČSN 01 5253	Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří (ČSN EN ISO/IEC 17025)
EA 4/02	Vyjadřování nejistot měření při kalibracích
ČSN 01 4100	Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Zkoušení součástí a měřidel měřením - Část 2: Pokyn k zjišťování odhadu nejistot měření v GPS, při kalibraci měřícího zařízení a při ověřování výrobků. (ČSN P ISO/TS 14253-2)
ČSN 01 4109	Pokyn pro vyjádření nejistoty měření (ČSN P ENV 13995)
EA 4/02	Vyjadřování nejistot měření při kalibracích
ČSN 01 4100	Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Zkoušení součástí a měřidel měřením - Část 2: Pokyn k zjišťování odhadu nejistot měření v GPS, při kalibraci měřícího zařízení a při ověřování výrobků. (ČSN P ISO/TS 14253-2)
ČSN 01 4109	Pokyn pro vyjádření nejistoty měření (ČSN P ENV 13995)
ČSN EN ISO 10360-1	Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřících strojů (CMM) - Část 1. Slovník

- ČSN EN ISO 10360-2 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřících strojů (CMM) - Část 2: Souřadnicové měřící stroje používané pro měření lineárních rozměrů.
- ČSN EN ISO 10360-5 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřících strojů (CMM) - Část 5: Souřadnicové měřící stroje používající snímací systémy s vícenásobnými snímacími doteky.
- ČSN EN ISO 10360-6 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřících strojů (CMM) - Část 6: Odhad chyb při výpočtu prvků přiřazených metodou nejmenších čtverců
- VDI/VDE 2617 Přesnosti souřadnicových strojů s více senzory, optickými senzory, optickými senzory se snímáním 1D a 2D prvků.

### 7.2.2 Interní

Příručka kvality	-	v platném znění
Řízení kalibračních postupů	-	v platném znění
Řízení záznamů	-	v platném znění
Zacházení s kalibračními položkami	-	v platném znění

### 7.3 Oblast platnosti a kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Tento postup má platnost v celé kalibrační laboratoři a jeho dodržování je závazné pro všechny zaměstnance, kteří jsou pověřeni kalibrací souřadnicových měřících strojů. Pracovníci pověřeni kalibrací souřadnicových měřících strojů musí být řádně seznámeni s tímto KP a vlastnit platný osobní certifikát způsobilosti ke kalibraci souřadnicových měřících strojů. (vydává f. PRIMA BILAVČÍK, s.r.o., KL).

Kalibrace souřadnicových měřících strojů se provádí ve stálé kalibrační laboratoři i mimo stálé prostory laboratoře.

## 7.4 Názvosloví, definice, použité zkratky

### 7.4.1 Názvosloví, definice

Souřadnicový měřicí stroj (SMS) - měřicí systém s prostředky pro pohyb snímacího systému a schopností určovat prostorově souřadnice na povrchu měřené součásti. (Popis některých běžných SMS a jejich skutečných os je uveden v normě ČSN EN ISO 10360-1.

Gaussova radiální vzdálenost R - vzdálenost mezi středem Gaussovy koule nejmenších čtverců, která je přiřazeným prvkem zjištěným prvkem z konečného počtu korigovaných bodů měření na kulovém hmotném etalonu rozměru a korigovaným bodem měření na tomtéž kulovém hmotném etalonu rozměru.

Chyba indikace SMS při měření rozměru, E - chyba indikace, se kterou může být pomocí SMS určen rozměr hmotného etalonu rozměru. Při měření se provede mezi dvěma protilehlými body na dvou rovnoběžných rovinách ve směru normály k jedné u nich, kdy snímané body jsou přístupné z protějších směrů.

Maximální dovolená chyba indikace SMS při měření rozměru, MPE<sub>E</sub> - extrémní hodnota chyby indikace SMS při měření rozměru E, přípustná podle technických podmínek, předpisů apod. pro SMS

Maximální dovolená chyba indikace SMS při měření, MPE<sub>E</sub> se stanoví jedním ze tří vztahů

$$MPE_E = \pm \text{minimum} (A + L/K) \leq B, \text{ nebo}$$

$$MPE_E = \pm (A + L/K), \text{ nebo}$$

$$MPE_E = \pm B$$

- kde
- |   |  |
|---|--|
| A | kladná konstanta, vyjádřená v mikrometrech a poskytnutá výrobcem             |
| K | bezrozměrná kladná konstanta poskytnutá výrobcem;                            |
| L | měřený rozměr v milimetrech ;  |
| B | největší dovolená chyba MPE <sub>E</sub> v mikrometrech poskytnutá výrobcem. |

Tyto výrazy se vztahují na každou polohu nebo orientaci hmotného etalonu v SMS .

Měření musí být prováděna na stroji s využitím všech tří os stroje, o němž výrobce uvádí, že pro něj platí deklarovaná hodnota  $MPE_E$ .

Chyba snímání, P - chyba indikace, s kterou může být pomocí SMS určena řada poloměrů kulového hmotného etalonu rozměru. Měření se provede v režimu snímání diskretních bodů jedním snímacím dotekem na zkušební kouli

Maximální dovolená chyba snímání,  $MPE_P$  - extrémní hodnota chyby snímání, P přípustná podle technických podmínek, předpisů apod. pro SMS.

Maximální dovolená chyba snímání SMS,  $MPE_P$  se stanoví jako

$MPE_P = A$  kde A je kladná konstanta vyjádřená v mikronech

Hmotný etalon - ztělesněná míra neprodukující nepřerušovaný řetězec hodnot rozměrové velikosti prvku.

Hmotný etalon rozměru - hmotný etalon neprodukující rozměr prvku.

POZNÁMKA: Příklady hmotných délkových etalonů jsou koncové měřky rovnoběžné podle ISO 3650.

Délka měřky (v libovolném bodě) - délka kolmice spuštěné z daného bodu měřicí plochy na protilehlou měřicí plochu.

Chyba v údaji SMS - Údaj SMS minus (konvenční) skutečná hodnota měřené veličiny.

POZNÁMKA: Chyba v údaji zahrnuje chybu hmotného délkového etalonu, případně teplotní korekce.

Kloubové měřicí rameno – mobilní SMS pracující zpravidla manuálním způsobem. Kloubové měřicí rameno má několik kloubů s rotačním snímáním.

#### 7.4.2 Použité zkratky

KP	kalibrační postup
ČSN	Česká technická norma
ČMS	Česká metrologická společnost
KL	Kalibrační laboratoř
SMS	Souřadnicové měřicí stroje (jiné označení - CMM)

## **7.5 Prostředky potřebné ke kalibraci**

- koncová měřka - sada, (hmotný etalon délky-"koba step"),
- přípravek na uchycení koncových měrek,
- kalibrační koule ( $\varnothing$  koule musí ležet v intervalu 10 až 50 mm) s držákem
- teploměr,
- tyč s koulemi,
- kužel na test opakovatelnosti,
- jemná utěrka (vlasový štěteček), vaselina bez příměsí vody a kyselin,
- přípravek na čištění (líh, izopropylalkohol, technický líh a jiné),
- tento kalibrační postup,
- příslušný záznam o kalibraci.
- kopie kalibračních listů měřidel použitých při kalibraci,
- kopie osobního certifikátu f. PRIMA BILAVČÍK, s.r.o., KL, případně kopie osvědčení o odborné způsobilosti,
- kopie schválené objednávky na kalibraci,
- kopie Osvědčení o akreditaci f. PRIMA BILAVČÍK, s.r.o., KL i s přílohami.

## **7.6 Obecné podmínky kalibrace**

Kalibrace SMS se provádí za těchto referenčních podmínek:

teplota prostředí:  $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ , při jiné teplotě se hodnoty přepočítají na teplotu  $20^{\circ}\text{C}$ ,

změna teploty za 1 hodinu: max.  $1^{\circ}\text{C}$ ,

vlhkost vzduchu max. 75%

Potřebné měřicí pomůcky se umístí v blízkosti SMS nebo na desce SMS a nechají se temperovat do vyrovnání teplot se SMS. Rozdíl teplot SMS a měřidel nesmí být větší než  $1^{\circ}\text{C}$ .



Teplota se měří před zahájením kalibrace a po jejím skončení (do záznamu o kalibraci se zapisují obě hodnoty, pokud teplota okolí se v průběhu měření změní o více než 1°C).

## **7.7 Vlastní kalibrace**

### **7.7.1 Vnější prohlídka měřidla**

Všechny funkční plochy přístroje se řádně vyčistí lihem a utrou jemnou utěrkou. Vizualně se zkontrolují evidenční a technické náležitosti přístroje (evidenční označení, rozsah zjevných mechanických a korozních poškození - funkční plochy nesmějí být poškrábány nebo jinak poškozeny a nesmí nést stopy koroze). Zkontroluje se stav měřící kuličky. Technik je povinen se dále řídit předpisem výrobce.

### **7.7.2 Provozní podmínky**

Při práci se SMS se mají používat postupy uvedené v provozní příručce výrobce.

Specifické oblasti v provozní příručce výrobce, na kterých se trvá, jsou např.

- spuštění stroje, cyklus zahřátí;
- konfigurace systému snímacích doteků;
- proces čištění špičky snímacího hrotu a referenční koule;
- hodnocení (kvalifikace) snímacího systému.

Špička snímacího hrotu a referenční koule by měla být před kvalifikací snímacího systému očištěna od nečistot a zbytků maziva, které mohou ovlivňovat výsledky měření.

### **7.7.3 Funkční zkouška**

Překontroluje se chod všech posuvných částí v celém rozsahu ( chod všech posuvných částí musí být plynulý, bez citelného zadírání, přístroj musí být lehce nastavitelný v jakémkoliv místě, musí bezchybně pracovat v celém rozsahu). Zkontroluje se správná funkce všech přídavných zařízení přístroje a vyhodnocení. Zjištěné závady se zaznamenají do záznamu o kalibraci. Technik je povinen se řídit předpisem výrobce měřících ramen.

#### 7.7.4 Kontrola metrologických parametrů

##### *Kontrola chyby snímání, P*

Kontrola chyby snímání se provádí pomocí kalibrační koule, která se umístí na jiném místě, než je umístěna referenční koule pro kvalifikaci snímacího systému. Změří a zaznamená se 25 bodů přibližně rovnoměrně rozložených alespoň na polokouli kalibrační koule (nebo dle požadavku zákazníka). Pomocí všech 25 měření se vypočítá přiřazená koule. Pro každé z 25 měření se vypočítá radiální vzdálenost,  $R$ . Vypočítá se chyba snímání  $P$ , jako rozmezí 25 Gaussových radiálních vzdáleností  $R_{\max}-R_{\min}$ . Pokud software SMS neumožňuje odečítání jednotlivých hodnot rádiusů, vypočte se ze všech 25 měření rádius koule a chyba snímání  $P$  se určí jako odchylka tvaru koule z naměřených hodnot. U měřících ramen je nutné řídit se normou VDI/VDE 2617 list 6 a dále kalibrační technik je povinen se řídit předpisem výrobce měřících ramen.

##### *Test opakovatelnosti jednoho bodu*

Na pracovní plochu se umístí speciální kužel určený na test opakovatelnosti. Měřícím ramenem se sejme 25 bodů, ze kterých je vyhodnocena maximální a minimální odchylka. Poté se vypočte hodnota dle vztahu  $(\text{Max}-\text{Min})/2$ , která reprezentuje hodnotu opakovatelnosti. Tento test se provádí v každém, ze čtyř kvadrantů.

##### *Kontrola chyby indikace při měření rozměru, E*

Kontrola chyby indikace při měření rozměrů se provádí pomocí koncových měrek odpovídajících ISO 3650 v sedmi různých polohách. V každé poloze se zvolí pět délek koncových měrek tak, aby nejmenší koncová měrka byla kratší než 30 mm a největší délka koncové měrky činila nejméně 66% rozsahu SMS v kontrolovaném směru. (Maximální délka koncové měrky použítá při kontrole činí 66% nejdelší prostorové úhlopříčky objemu SMS). Délky koncových měrek se volí i ohledem na používané nástavce.

Následující úkony se opakují pro každou ze sedmi různých poloh a orientací.

Změří se třikrát každá z pěti koncových měrek v některé ze sedmi různých poloh a orientací. Délka měrky se zjišťuje ve středu měřicí plochy měrky (střední délka měrky). Po každém měření se překontroluje nastavení SMS. Koncové měrky se ukládají do držáku na

úzkou plochu. Měrky nad 100 mm se ukládají na podpory v bodech ve vzdálenosti  $0,211 \cdot L$  od konců měrky (na koncových měrkách jsou body vyznačeny ryskami).

Pořadí měření jednotlivých poloh je následující:

- měření v osách,
- měření v plošných úhlopříčkách,
- měření v prostoru.

Při kalibraci měřicího ramene se provádí výše uvedená měření v každém kvadrantu zvlášť (celkem 4 krát).

Při kalibraci měřicího ramene se provádí výše uvedená měření v každém kvadrantu a v různých výškových úrovních min 3 úrovně.

#### ***Kalibrace na kalibrační tyč s koulemi***

Kontrola chyby indikace a snímání se provádí pomocí tyčí s koulemi. Zvolí se tyč vhodné délky podle měřicího ramen. Kontrola bude probíhat ve třech osách a to X,Y,Z. Následující úkony se opakují pro každou ze třech orientací.

Změří se obě koule a vypočtou se jejich středy, z kterých se následně vypočítá vzdálenost středů koulí. Měření se bude opakovat pro každou osu třikrát. Tyč s koulemi se ukládá do speciálního držáku, který je součástí kalibrační sady.

#### ***Kontrola chyby indikace při měření rozměru koba step, E***

Kontrola chyby indikace při měření rozměrů se provádí pomocí hmotného etalonu délky v jedné poloze. Měří se všechny koncové měrky v hmotném etalonu délky.

Následující úkony se opakují pro každou měrku.

Změří se třikrát každý rozměr koncové měrky. Délka měrky se zjišťuje ve středu měřicí plochy měrky (střední délka měrky). Po každém měření se překontroluje nastavení SMS.

### 7.7.5 Vyhodnocení

Pro každé z měření se vypočítá chyba indikace při měření rozměru E, jako rozdíl mezi indikovanou hodnotou a pravou hodnotou jednotlivých koncových měrek a tyto hodnoty se zaznamenají, případně vyznačí graficky.

V případě provedení korekcí se toto zaznamená do záznamu o kalibraci a příslušného kalibračního listu. Laboratoř provádí případné hodnocení mimo rozsah akreditace.

### 7.8 Rozdělovník

Tabulka 3. Rozdělovník

				<i>Revize č.</i>	<i>Revize č.</i>	<i>Revize č.</i>
		<i>DRUHÉ VYDÁNÍ</i>		<i>ze dne</i>	<i>ze dne</i>	<i>ze dne</i>
				<i>list(y)</i>	<i>list(y)</i>	<i>list(y)</i>
<i>č.</i>	<i>Umístění</i>	<i>Jméno</i>	<i>Podpis**</i>	<i>Podpis**</i>	<i>Podpis**</i>	<i>Podpis**</i>
1	Stálá laboratoř-PC					
2	Stálá laboratoř*					
3	Externí kalibrace*					
4						

\* výtisk v písemné podobě

\*\* podpisy se provádí pouze u dokumentů v písemné podobě (u výtisku č.1 odpovídá za aktualizaci osoba, která provádí změnu dokumentu)

## 7.9 Validace kalibračního postupu

### 7.9.1 Výpočet měřicí schopnosti kalibrace

#### SMS - dělení 0,001 mm

Tabulka 4. Měřicí schopnosti kalibrace pro kalibraci měřicího ramene.

<i>Veličina</i>	<i>Odhad</i>	<i>Standardní nejistota</i>	<i>Pravděpodobnostní rozdělení</i>	<i>Citlivostní koeficient</i>	<i>Příspěvek k nejistotě v <math>\mu\text{m}</math></i>
$u_A$	0	0	-	1,0	0
$l_{s1}$	0	0,05+0,5L	normální	1,0	0,05+0,5L
$l_{ix}$	0	0,577350	rovnoměrné	1,0	0,577350
$l_t$	0	0	rovnoměrné	11,5L	0
$l_\alpha$	0	0	rovnoměrné	L	0

Nejistota měření  $u_A = 0$

Kombinovaná nejistota

$$u = \sqrt{(0,05 + 0,5L)^2 + 0,577350^2} \mu\text{m}$$

$$u = (0,579511 + 0,5L) \mu\text{m}$$

Rozšířená nejistota

$$U = k u = 2 (0,579511 + 0,5L) \mu\text{m}$$

$$U = (1,159022 + 1L) \mu\text{m}$$

Po zaokrouhlení je měřicí schopnost kalibrace

$$U = (1,2 + 1L) \mu\text{m} \quad L \text{ v metrech}$$

$u_A$  nejistota měření typu A,  $u_A=0 \mu\text{m}$

$l_{s1}$  vliv použitého etalonu - koncové měrky  $(0,1+1L)/2 \mu\text{m}$

- $l_{ix}$  vliv rozlišitelnosti měřidla (1  $\mu\text{m}$ ), -  $1/\sqrt{3}$
- $l_t$  vliv rozdílu teplot (odhad  $t_1-t_2=0^\circ\text{C}$ ) -  $(t_1- t_2)/\sqrt{3}$  -standardní nejistota, 11,5L - citlivostní koeficient
- $l_\alpha$  vliv odchylky teploty od  $20^\circ\text{C}$  a rozdílných koeficientů roztažnosti (odhad  $t-20^\circ\text{C}$ ,  $\alpha_1-\alpha_2=2 \cdot 10^{-6}\text{C}^{-1}$ )
- $[(t-20)/\sqrt{3}] [ (\alpha_1- \alpha_2)/ \sqrt{3} ]$  - standardní nejistota , L - citlivostní koeficient
- L měřící rozsah v metrech
- $t_1$  teplota etalonové koncové měrky
- $t_2$  teplota SMS
- t skutečná hodnota teploty prostředí
- $\alpha_1$  koeficient teplotní roztažnosti etalonové koncové měrky
- $\alpha_2$  koeficient teplotní roztažnosti SMS

### 7.9.2 Validace kalibračního postupu

Validace kalibračního postupu SMS:

- vychází z norem řady ISO 10360
- VDI/VDE 2617

### 7.9.3 Příklad výpočtu nejistoty měření

#### SMS - dělení 0,001 mm

Použité etalony: Koncové měrky 125÷500

evidenční číslo:MD-PB-039

Teploměr

evidenční číslo:MTV-PB-065

Tabulka 5. Karta měřidla.

Název měřidla:	SMS FARO	Evidenční označ:	-	Výrobce:	FARO
Rozsah/rozlišení:	1500/0,0001 mm	Výrobní číslo:	xxxxxxxxxxx	Kalibrační postup:	KP-PB-21/05

Výpočet nejistoty typu A

Tabulka 6. Vzorové naměřené hodnoty při výpočtu nejistot pro kalibraci měřícího ramene.

Číslo měření	1.	2.	3.	4.	5.
Naměřená hodnota	399,9995	400,0005	399,9986		
Číslo měření	6.	7.	8.	9.	10:
Naměřená hodnota					

Aritmetický průměr:  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 399,9995 \text{ mm}$

Výběrová směrodatná odchylka:  $s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0,950438 \text{ } \mu\text{m}$

Tabulka 7. Výpočet nejistot pro kalibraci měřícího ramene.

<i>Veličina</i>	<i>Odhad</i>	<i>Standardní nejistota</i>	<i>Pravděpodobnostní rozdělení</i>	<i>Citlivostní koeficient</i>	<i>Příspěvek k nejistotě v <math>\mu\text{m}</math></i>
$u_A$	0	0,548735	-	1,0	0,548735
$l_{s1}$	0	0,15+1L	normální	1,0	0,15+1L
$l_{ix}$	0	0,0577350	rovnoměrné	1,0	0,0577350
$l_t$	0	0	rovnoměrné	11,5L	0
$l_\alpha$	0	0,6	rovnoměrné	L	0,6L

Nejistota měření  $u_A = 0,548735 \mu\text{m}$

Kombinovaná nejistota

$$u = \sqrt{0,548735^2 + (0,15 + 1L)^2 + 0,0577350^2 + (0,6L)^2} \mu\text{m}$$

$$u = (0,810520 + 1,166190L) \mu\text{m}$$

Rozšířená nejistota

$$U = k u = 2 (0,810520 + 1,166190L) \mu\text{m}$$

$$U = (1,62104 + 2,332381L) \mu\text{m}$$

**Po zaokrouhlení je rozšířená nejistota měření**

$$U = (2 + 2,5L) \mu\text{m} \quad L \text{ v metrech}$$

$u_A$  nejistota měření typu A,  $u_A=0,548735 \mu\text{m}$

$l_{s1}$  vliv použitého etalonu - koncové měrky  $(0,2+3L)/2 \mu\text{m}$

$l_{ix}$  vliv rozlišitelnosti měřidla  $(0,1 \mu\text{m})$ ,  $- 1/\sqrt{3}$

$l_t$  vliv rozdílu teplot ( $0^\circ\text{C}$ ) -  $(t_1 - t_2)/\sqrt{3}$  - standardní nejistota,  $11,5L$  - citlivostní koeficient

$l_\alpha$  vliv odchylky teploty od  $20^\circ\text{C}$  a rozdílných koeficientů roztažnosti (odhad  $t - 20 = 0,9^\circ\text{C}$ ,

$$\alpha_1 - \alpha_2 = 2 \cdot 10^{-6} \text{C}^{-1}$$

$$[(t-20)/\sqrt{3}] [(\alpha_1 - \alpha_2)/\sqrt{3}] - \text{standardní nejistota, } L - \text{citlivostní koeficient}$$

$L$  měřící rozsah v metrech

$t_1$  teplota etalonové koncové měrky

$t_2$  teplota SMS

$t$  skutečná hodnota teploty prostředí

$\alpha_1$  koeficient teplotní roztažnosti etalonové koncové měrky

$\alpha_2$  koeficient teplotní roztažnosti SMS



## 8 KALIBRAČNÍ POSTUP MĚŘIDEL MĚŘENÉ NA SMS FARO

### 8.1 Předmět kalibrace

Tento kalibrační postup se vztahuje na kalibraci měřidel měřené na souřadnicovém měřícím rameni FARO do max. délky 2700 mm.

### 8.2 Odkazy na normy a navazující předpisy

#### 8.2.1 Externí

ČSN 01 0115	Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii
ČSN 01 0360	Systemy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřící vybavení. (ČSN ISO 10 012)
ČSN 01 5253	Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří (ČSN EN ISO/IEC 17025)
EA 4/02	Vyjadřování nejistot měření při kalibracích
ČSN 01 4100	Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Zkoušení součástí a měřidel měřením - Část 2: Pokyn k zjišťování odhadu nejistot měření v GPS, při kalibraci měřícího zařízení a při ověřování výrobků. (ČSN P ISO/TS 14253-2)
ČSN 01 4109	Pokyn pro vyjádření nejistoty měření (ČSN P ENV 13995)
ČSN 01 4412	Metody hodnocení úchylek kruhovitosti.
ČSN 01 4424	Měření úchylek válcovitosti.
ČSN 01 4201	Soustava tolerancí a uložení ISO. Část 1: Základní ustanovení, úchytky a uložení.
č.KP.1.1.1/05/00	Kalibrační postup ČMS – Měřící přípravek (pro kontrolu délkových, popř. geometrických parametrů).

Návod k obsluze FARO Arm.

Návod k softwaru Polyworks Inspector (Polyworks/IMInspect).

### 8.2.2 Interní

Příručka kvality	-	v platném znění
Řízení kalibračních postupů	-	v platném znění
Řízení záznamů	-	v platném znění
Zacházení s kalibračními položkami	-	v platném znění
Kalibrační postup mikrometrických měřidel	-	v platném znění

### 8.3 Oblast platnosti a kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Tento postup má platnost v celé kalibrační laboratoři a jeho dodržování je závazné pro všechny zaměstnance, kteří jsou pověřeni kalibrací měřidel délky měřené na souřadnicovém měřícím rameni FARO. Pracovníci pověřeni kalibrací měřidel délky měřené na souřadnicovém měřícím rameni FARO musí být řádně seznámeni s tímto KP a vlastnit platný osobní certifikát způsobilosti ke kalibrací měřidel délky měřené na souřadnicovém měřícím rameni FARO (vydává PRIMA BILAVČÍK, s.r.o., KL).

Kalibrace měřidel délky měřené na souřadnicovém měřícím rameni FARO se provádí ve stálé kalibrační laboratoři a v prostorách zákazníka.

### 8.4 Názvosloví, definice, použité zkratky

#### 8.4.1 Názvosloví, definice

Pojmy a definice jsou obsaženy v normách daných měřidel (např. v normách řady ČSN 01XXXX, ČSN 25 XXXX, ČSN 99 XXXX, DIN a jiných).

#### 8.4.2 Použité zkratky

KP	Kalibrační postup
PB	PRIMA BILAVČÍK
ČSN	Česká technická norma
ČMS	Česká metrologická společnost
KL	Kalibrační laboratoř

Rameno FARO

Souřadnicové měřicí rameno FARO

## 8.5 Prostředky potřebné ke kalibraci

- souřadnicový měřicí stroj FARO Arm s příslušenstvím
- jemná utěrka, vaselina bez příměsí vody a kyselin,
- přípravek na čištění měřidel (láh, isopropylalkohol, technický láh a jiné),
- brusný kámen, brusné plátno nebo brusný papír,
- nářadí,
- tento kalibrační postup,
- příslušný záznam o kalibraci (výstupní protokol ramene FARO)
- kopie kalibračních listů měřidel použitých při kalibraci,
- kopie osobního certifikátu PRIMA BILAVČÍK, s.r.o., KL, případně kopie osvědčení o odborné způsobilosti,
- kopie schválené objednávky na kalibraci,
- kopie Osvědčení o akreditaci PRIMA BILAVČÍK, s.r.o., KL, i s přílohami.

## 8.6 Obecné podmínky kalibrace

### 8.6.1 Kalibrace prováděné ve stálé laboratoři:

teplota prostředí  $20^{\circ}\text{C} \pm \text{max. } 2^{\circ}\text{C}$

změna teploty vzduchu za 1 hodinu max.  $2^{\circ}\text{C}$

Kalibrovaná měřidla a rameno FARO se nechají temperovat minimálně po dobu uvedenou v následující tabulce (na místě provádění měření)

Tabulka 8. Doba temperace ve stálé laboratoři.

<i>Maximální rozměr kalibrovaného měřidla</i>	<i>Minimální doba temperování</i>
do 600 mm	60 min.
přes 600 mm do 1200 mm	90 min.
přes 1200 mm do 2000 mm	120 min.
přes 2000 mm do 2500 mm	150 min.

Teplota se měří registračním teploměrem (snímání minimálně po 15 min.).

### 8.6.2 Kalibrace prováděné v prostotách zákazníka:

teplota prostředí od +10 °C do +40 °C,

kolísání teploty 3 °C/5 min, vlhkost 0-95 % nekondenzující – systém automaticky snímá okolní podmínky a pokud nesplňují uvedené hodnoty, měření není možné

Kalibrovaná měřidla a rameno FARO se nechají temperovat minimálně po dobu uvedenou v následující tabulce (na místě provádění měření)

Tabulka 9. Doba temperace v prostorách zákazníka.

<i>Maximální rozměr kalibrovaného měřidla</i>	<i>Minimální doba temperování</i>
do 600 mm	60 min.
přes 600 mm do 1200 mm	90 min.
přes 1200 mm do 2000 mm	120 min.
přes 2000 mm do 2500 mm	150 min.

Teplota se měří registračním teploměrem (snímání minimálně po 15 min.).

### 8.6.3 Příprava ramene FARO k měření

- instalace souřadnicového měřicího stroje FARO Arm na místě měření – sestavení a upnutí pomocí pevného upínače, magnetického upínače, vakuového upínače nebo trojnožky,
- spuštění přenosného PC s příslušným měřicím softwarem a inicializace ramene (Návod k obsluze FARO Arm, kapitola „Aktivace snímačů“),
- kontrola měřicího doteku pomocí kontrolního kuželu nebo koule (Návod k obsluze FARO Arm, kapitola „Probes“),
- zadání teploty a materiálu zjištěné dotykovým registračním teploměrem do měřicího softwaru.

## 8.7 Vlastní kalibrace

### 8.7.1 Vnější prohlídka měřidla

Funkční plochy měřidel se řádně vyčistí lihem a vytřou jemnou utěrkou. Vizualně se zkontrolují evidenční a technické náležitosti (evidenční označení, rozsah zjevných mechanic-

kých a korozních poškození - funkční plochy nesmějí být poškrábány nebo jinak poškozeny a nesmí nést stopy koroze). Lehce poškozená místa nebo ostré hrany se upraví, po úpravě se znovu očistí.

### 8.7.2 Funkční zkouška

Funkční zkouška se provádí u měřidel, která obsahují pohyblivé části. U takových měřidel se provede funkční zkouška dle návodu na použití, výkresové dokumentace nebo pokynů zákazníka.

### 8.7.3 Kontrola metrologických parametrů

Strategie měření na rameni FARO se provádí dle Návodu k obsluze FARO Arm a Návodu k softwaru Polyworks Inspector (Polyworks/IMInspect).

#### *Měření dle výkresové dokumentace*

- „vyrovnání“ měřeného měřidla dle výkresové dokumentace a požadavků zákazníka (Návod k softwaru Polyworks Inspector, kapitola 10 „Align objects“),
- měření požadovaných rozměrů dle výkresové dokumentace a požadavků zákazníka, měření se provede min. 3 krát.
- vyhodnocení naměřených hodnot pomocí výkresové dokumentace, norem nebo požadavků zákazníka.

#### *Měření dle CAD modelu*

- import CAD modelu měřeného měřidla dodaného zákazníkem (Návod k softwaru Polyworks Inspector, kapitola 6.5 „Importing CAD models“)
- kontrola úplnosti CAD modelu a kontrola prostorové orientace jednotlivých částí (NURBS ploch) CAD modelu měřeného měřidla dodaného zákazníkem a provedení případných korekcí (Návod k softwaru Polyworks Inspector, kapitoly 29.2.3 „Correcting inverted CAD surfaces, 29.2.4. „Inverting element orientation“ a 29.2.5. „Restoring CAD surface orientation“),
- „vyrovnání“ měřeného měřidla dle výkresové dokumentace v souladu s CAD modelem měřeného měřidla a požadavků zákazníka (Návod k softwaru Polyworks Inspector, kapitola 10 „Align objects“),
- měření požadovaných rozměrů dle výkresové dokumentace a požadavků zákazníka, měření se provede min. 3 krát,
- vyhodnocení naměřených hodnot pomocí CAD modelu a výkresové dokumentace, norem nebo požadavků zákazníka.

### 8.7.4 Vyhodnocení

Dle požadavků zákazníka se zvolí způsob vyhodnocení, do kalibračního listu se uvádí průměrné hodnoty naměřených hodnot.

## 8.8 Rozdělovník

Tabulka 10. Rozdělovník.

				<i>Revize č.</i>	<i>Revize č.</i>	<i>Revize č.</i>
<i>KP-PB-28</i>		<i>PRVNÍ VYDÁNÍ</i>		<i>ze dne</i>	<i>ze dne</i>	<i>ze dne</i>
				<i>list(y)</i>	<i>list(y)</i>	<i>list(y)</i>
<i>č.</i>	<i>Umístění</i>	<i>Jméno</i>	<i>Podpis**</i>	<i>Podpis**</i>	<i>Podpis**</i>	<i>Podpis**</i>
1	Stálá labora- toř-PC					
2	Stálá labora- toř*					
3						
4						

\* výtisk v písemné podobě

\*\* podpisy se provádí pouze u dokumentů v písemné podobě (u výtisku č.1. a č.3 odpovídá za aktualizaci osoba, která provádí změnu dokumentu)

## 8.9 Validace kalibračního postupu

### 8.9.1 Výpočet měřící schopnosti kalibrace

Naměřené hodnoty: 99,997 mm

100,001 mm

99,992 mm

Tabulka 11. Výpočet měřicí schopnosti kalibrace pro kalibraci pomocí měřícího ramene.

<i>Veličina</i>	<i>Odhad</i>	<i>Standardní nejistota</i>	<i>Pravděpodobnostní rozdělení</i>	<i>Citlivostní koeficient</i>	<i>Příspěvek k nejistotě v <math>\mu\text{m}</math></i>
$u_A$	0	5,987858	normální	1,0	35,854444
$l_{s1}$	0	20,5	normální	1,0	420,25
$l_{ix}$	0	0,057735	rovnoměrné	1,0	0,003333
$l_t$	0	0	rovnoměrné	11,5L	0
$l_\alpha$	0	0	rovnoměrné	L	0

Nejistota měření  $u_A = 5,987858 \mu\text{m}$

Kombinovaná nejistota

$$u = \sqrt{35,854444^2 + 420,25^2 + 0,05773502^2} \mu\text{m}$$

$$u = 21,356680 \mu\text{m}$$

Rozšířená nejistota

$$U = k u = 2 \times 21,356680 \mu\text{m}$$

$$U = 42,71336 \mu\text{m}$$

**Po zaokrouhlení je měřicí schopnost kalibrace**

$$U = 0,043 \text{ mm}$$

$u_A$  nejistota měření typu A,  $u_A=5,987858 \mu\text{m}$

$l_{s1}$  vliv použitého měřícího přístroje  $41 \mu\text{m}$

$l_{ix}$  vliv rozlišitelnosti měřidla ( $0,1 \mu\text{m}$ )

$l_t$  vliv rozdílu teplot (odhad  $t_1-t_2=0^\circ\text{C}$ ) -  $(t_1- t_2)/\sqrt{3}$  -standardní nejistota, 11,5L - citlivostní koeficient

$l_\alpha$  vliv odchylky teploty od  $20^\circ\text{C}$  a rozdílných koeficientů roztažnosti (odhad  $t-20=0^\circ\text{C}$ ,

$$\alpha_1-\alpha_2=2 \cdot 10^{-6}\text{C}^{-1})$$

$[(t-20)/\sqrt{3}] [(\alpha_1 - \alpha_2)/\sqrt{3}]$  - standardní nejistota, L - citlivostní koeficient

- L měřicí rozsah v metrech
- $t_1$  teplota měřidla
- $t_2$  teplota ramene FARO
- t skutečná hodnota teploty prostředí
- $\alpha_1$  koeficient teplotní roztažnosti měřidla
- $\alpha_2$  koeficient teplotní roztažnosti ramene FARO

### 8.9.2 Validace kalibračního postupu

Validace kalibračního postupu:

- vychází ze vzorového kalibračního postupu MĚŘÍCÍ PŘÍPRAVEK vydaného ČMS
- porovnání naměřených hodnot získaných na různých měřicích zařízeních (koncová měrka, válečkový kalibr, koule)
- vychází z návodů
- Návod k obsluze FARO Arm.
- Návod k softwaru Polyworks Inspector (Polyworks/IMInspect).



## 9 VYPRACOVÁNÍ KALIBRAČNÍHO LISTU PRO MĚŘÍCÍ RAMENO

KALIBRAČNÍ LIST č. AKL-00001/14

Datum vystavení kalibračního listu: 15. 12. 2014

Ing. Žáček Petr

---

technický vedoucí KL

- Zadavatel** : Název firmy  
Ulice  
Město
- Měřidlo** : SMS FARO Arm Fusion
- Výrobce** : FARO Swiss Holding GmbH
- Evidenční číslo** : -
- Výrobní číslo** : xxx-xx-xx-xxxx
- Použité etalony** : Koncové měrky (evidenční číslo MD-PB-013) zkalibrovány dne 30. 5. 2013, Kalibrační list č. 6033-KL-D0228-13. Koncová měrka (evidenční číslo MD-PB-147) zkalibrována v ČMI OI Brno dne 28. 2. 2013, Kalibrační list č. 6033-KL-M0215-13. Koncové měrky (evidenční číslo MD-PB-007) zkalibrovány dne 14. 10. 2013, Kalibrační list č. AKL-DM-6317/13. Kalibrační koule (evidenční číslo MD-PB-110) zkalibrována dne 23. 10. 2011, Kalibrační list č. 72519. Teploměr+vlhkoměr (evidenční číslo MTV-PB-077) zkalibrován dne 29.11.2013, Kalibrační list č. AKL-TM-0762/13
- Prohlášení KL** : Použitá měřidla a další přístroje mají zajištěnou návaznost na národní etalony primárních laboratoří nebo etalony akreditovaných laboratoří.

**Podmínky měření** : Teplota:  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$

**Metoda měření** : Měření se uskutečnilo podle kalibračního postupu č. KP-PB-21/11

**Nejistota měření** :  $U = 30,0 \mu\text{m}$

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $k=2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA 4/02.

## Test měření opakovatelnosti jednoho bodu, kvadrant 1

**Výrobní číslo FaroARM:** xxx-xx-xx-xxxx**Verze Firmware:** 2.25**Typ doteku:** Kuličkový**Chyba kalibrace doteku:** 0,0308 mm**Test proveden dne:** 12.12.2014**Počet snímaných bodů:** 25

Tabulka 12. Měření opakovatelnosti jednoho bodu, kvadrant 1

Index	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
1	35,5527	37,6638	15,8773
2	35,5585	37,6505	15,9156
3	35,5770	37,6561	15,9024
4	35,5447	37,6382	15,9136
5	35,5347	37,6361	15,9193
6	35,5853	37,6613	15,8866
7	35,5438	37,6489	15,8848
8	35,5713	37,6143	15,9036
9	35,5721	37,6429	15,8784
10	35,5290	37,6170	15,8844
11	35,5080	37,6572	15,8447
12	35,5636	37,6238	15,8507
13	35,5376	37,6123	15,8495
14	35,5042	37,6382	15,8629
15	35,5430	37,6766	15,8073
16	35,5091	37,6517	15,8309
17	35,5316	37,6495	15,8260

Tabulka 12. Měření opakovatelnosti jednoho bodu, kvadrant 1

18	35,5098	37,6611	15,8156
19	35,5549	37,6597	15,8128
20	35,5214	37,6132	15,8111
21	35,5793	37,6318	15,8137
22	35,5106	37,6351	15,7713
23	35,5155	37,6380	15,7618
24	35,5580	37,6520	15,7744
25	35,5716	37,6471	15,7698
<b>Max</b>	35,5853	37,6766	15,9193
<b>Min</b>	35,5042	37,6123	15,7618
<b>(Max-Min)/2</b>	<b>0,0406</b>	<b>0,0322</b>	<b>0,0788</b>

Test měření opakovatelnosti jednoho bodu, kvadrant 2

**Výrobní číslo FaroARM:** xxx-xx-xx-xxxx

**Verze Firmware:** 2.25

**Typ doteku:** Kuličkový

**Chyba kalibrace doteku:** 0,0308 mm

**Test proveden dne:** 12.12.2014

**Počet snímaných bodů:** 25

Tabulka 13. Měření opakovatelnosti jednoho bodu, kvadrant 2

Index	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
1	35,5889	37,6695	15,9273
2	35,6213	37,6265	15,9111
3	35,5927	37,6234	15,9349

Tabulka 13. Měření opakovatelnosti jednoho bodu, kvadrant 2

4	35,5867	37,6273	15,9279
5	35,6202	37,5774	15,9249
6	35,6067	37,6085	15,9119
7	35,6125	37,5988	15,9315
8	35,5954	37,6127	15,9343
9	35,5979	37,6118	15,9224
10	35,5998	37,6026	15,9335
11	35,6118	37,6495	15,9280
12	35,6133	37,6191	15,9333
13	35,6019	37,6626	15,9411
14	35,6201	37,6665	15,9491
15	35,6175	37,6729	15,9153
16	35,6100	37,6174	15,9131
17	35,5926	37,6140	15,9337
18	35,6051	37,6418	15,9397
19	35,6197	37,6312	15,9372
20	35,6087	37,6376	15,9114
21	35,6179	37,6179	15,9238
22	35,6195	37,6566	15,9386
23	35,5864	37,6264	15,9253
24	35,5787	37,6440	15,9420
25	35,6143	37,6549	15,9125
<b>Max</b>	35,6213	37,6729	15,9491
<b>Min</b>	35,5787	37,5774	15,9111
<b>(Max-Min)/2</b>	<b>0,0213</b>	<b>0,0478</b>	<b>0,0190</b>

## Test měření opakovatelnosti jednoho bodu, kvadrant 3

**Výrobní číslo FaroARM:** xxx-xx-xx-xxxx**Verze Firmware:** 2.25**Typ doteku:** Kuličkový**Chyba kalibrace doteku:** 0,0308 mm**Test proveden dne:** 12.12.2014**Počet snímaných bodů:** 25

Tabulka 14. Měření opakovatelnosti jednoho bodu, kvadrant 3

Index	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
1	35,6189	37,8334	15,8881
2	35,6327	37,8402	15,9038
3	35,6247	37,8105	15,9219
4	35,6142	37,7735	15,9043
5	35,6711	37,7862	15,8879
6	35,6148	37,7679	15,8577
7	35,6585	37,7919	15,8483
8	35,5923	37,7742	15,8731
9	35,6305	37,7625	15,8498
10	35,6584	37,8063	15,8562
11	35,6387	37,8040	15,9198
12	35,6427	37,7968	15,9098
13	35,6405	37,7996	15,8780
14	35,6865	37,7786	15,8691
15	35,6426	37,8016	15,8780
16	35,6248	37,7911	15,8488
17	35,6004	37,8329	15,9148
18	35,6155	37,7973	15,8993

Tabulka 14. Měření opakovatelnosti jednoho bodu, kvadrant 3

19	35,6755	37,8152	15,8933
20	35,6946	37,7991	15,9035
21	35,6397	37,7955	15,9026
22	35,6382	37,7763	15,8604
23	35,6308	37,8095	15,9133
24	35,5940	37,7948	15,8594
25	35,5974	37,8339	15,9192
Max	35,6946	37,8402	15,9219
Min	35,5923	37,7625	15,8483
(Max-Min)/2	0,0512	0,0389	0,0368

Test měření opakovatelnosti jednoho bodu, kvadrant 4

**Výrobní číslo FaroARM:** xxx-xx-xx-xxxx

**Verze Firmware:** 2.25

**Typ doteku:** Kuličkový

**Chyba kalibrace doteku:** 0,0308 mm

**Test proveden dne:** 12.12.2014

**Počet snímaných bodů:** 25

Tabulka 15. Měření opakovatelnosti jednoho bodu, kvadrant 4

Index	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
1	35,6363	37,7424	15,8796
2	35,6524	37,7198	15,8929
3	35,6087	37,6929	15,9117
4	35,6384	37,6953	15,8937
5	35,6637	37,6866	15,9142
6	35,6588	37,6877	15,8985

Tabulka 15. Měření opakovatelnosti jednoho bodu, kvadrant 4

7	35,6686	37,7138	15,8741
8	35,6646	37,6715	15,8972
9	35,6658	37,6852	15,8762
10	35,6530	37,7227	15,8648
11	35,6623	37,6927	15,8536
12	35,6474	37,7040	15,8466
13	35,6208	37,7038	15,8604
14	35,6612	37,6998	15,8491
15	35,6193	37,7323	15,8242
16	35,6008	37,7168	15,8384
17	35,6649	37,7156	15,8345
18	35,6299	37,7146	15,8218
19	35,6712	37,7305	15,8038
20	35,6365	37,6847	15,8237
21	35,6166	37,7338	15,8025
22	35,6103	37,7210	15,8250
23	35,6204	37,6923	15,8071
24	35,6647	37,7155	15,8068
25	35,6594	37,7132	15,7805
Max	35,6712	37,7424	15,9142
Min	35,6008	37,6715	15,7805
(Max-Min)/2	<b>0,0352</b>	<b>0,0355</b>	<b>0,0668</b>

## Test na měrky, kvadrant 1

Výrobní číslo FaroARM: xxx-xx-xx-xxxx

Verze Firmware: 2.25

Typ doteku: Kuličkový

Chyba kalibrace doteku: 0,0315 mm



Test proveden dne: 13.12.2014

Počet snímaných bodů: 105

Tabulka 16. Test na měrky, kvadrant 1

Osa	Měrka [mm]	Měření 1 [mm]	Měření 2 [mm]	Měření 3 [mm]	Rozdíl 1 [mm]	Rozdíl 2 [mm]	Rozdíl 3 [mm]	Rozdíl [mm]*
<b>X</b>	25,0000	24,9383	24,9568	24,9298	-0,0617	-0,0432	-0,0702	-0,0584
	124,9998	124,9575	124,9816	124,9476	-0,0423	-0,0182	-0,0522	0,0376
	199,9999	199,9440	199,9187	199,9639	-0,0559	-0,0812	-0,0360	0,0577
	500,0001	499,9866	500,0325	499,9537	-0,0135	0,0324	-0,0464	0,0092
	1000,0007	999,9215	999,9651	999,9723	-0,0792	-0,0356	-0,0284	0,0477
<b>Y</b>	25,0000	24,9628	24,9236	24,9355	-0,0372	-0,0764	-0,0645	0,0594
	124,9998	124,9486	124,9102	124,9524	-0,0512	-0,0896	-0,0474	0,0627
	199,9999	199,8650	199,9457	199,9787	-0,1349	-0,0542	-0,0212	0,0701
	500,0001	499,9295	499,9658	499,8794	-0,0706	-0,0343	-0,1207	0,0752
	1000,0007	999,9744	999,9584	999,9639	-0,0263	-0,0423	-0,0368	0,0351
<b>Z</b>	25,0000	24,9738	24,9548	24,9891	-0,0262	-0,0452	-0,0109	0,0274
	124,9998	124,9627	125,0036	125,0286	-0,0371	0,0038	0,0288	0,0015
	199,9999	199,9361	199,9212	199,9886	-0,0638	-0,0787	-0,0113	0,0513
	500,0001	500,0541	500,0325	500,0670	0,0540	0,0324	0,0669	0,0511
	1000,0007	1000,0485	1000,1349	1000,0921	0,0478	0,1342	0,0914	0,0911

Tabulka 16. Test na měrky, kvadrant 1

<b>XY</b>	25,0000	24,9057	24,9643	24,9455	-0,0943	-0,0357	-0,0545	0,0615
	124,9998	124,9334	124,9011	124,9517	-0,0664	-0,0987	-0,0481	0,0711
	199,9999	199,9572	199,9780	199,9223	-0,0427	-0,0219	-0,0776	0,0474
	500,0001	499,9143	499,9483	499,9729	-0,0858	-0,0518	-0,0272	0,0549
	1000,0007	999,9286	999,8876	999,9128	-0,0721	-0,1131	-0,0879	0,0910
<b>XZ</b>	25,0000	24,9635	24,9898	24,9536	-0,0365	-0,0102	-0,0464	0,0310
	124,9998	124,9254	124,9457	124,9694	-0,0744	-0,0541	-0,0304	0,0530
	199,9999	200,0001	199,9539	200,0392	0,0002	-0,0460	0,0393	0,0022
	500,0001	499,9657	500,0298	499,9943	-0,0344	0,0297	-0,0058	0,0035
	1000,0007	1000,0638	1000,1251	1000,0895	0,0631	0,1244	0,0888	0,0921
<b>YZ</b>	25,0000	24,9816	24,9378	24,9390	-0,0184	-0,0622	-0,0610	-0,0472
	124,9998	124,9625	125,0245	125,0489	-0,0373	0,0247	0,0491	0,0122
	199,9999	200,0468	200,0648	199,9782	0,0469	0,0649	-0,0217	-0,0300
	500,0001	500,0714	500,1411	500,0684	0,0713	0,1410	0,0683	0,0935
	1000,0007	1000,0525	1000,0383	1000,1015	0,0518	0,0376	0,1008	0,0634
<b>XYZ</b>	25,0000	24,9611	24,9527	24,9759	-0,0389	-0,0473	-0,0241	-0,0368
	124,9998	124,9454	125,0245	124,9301	-0,0544	0,0247	-0,0697	-0,0331
	199,9999	199,9892	199,9681	199,9742	-0,0107	-0,0318	-0,0257	-0,0227
	500,0001	500,0541	500,0841	500,0338	0,0540	0,0840	0,0337	0,0572
	1000,0007	1000,0678	1000,0405	1000,0874	0,0671	0,0398	0,0867	0,0645

\*Rozdíly uvedeny v absolutních hodnotách

## Test na měrky, kvadrant 2

Výrobní číslo FaroARM: xxx-xx-xx-xxxx

Verze Firmware: 2.25

Typ doteku: Kuličkový

Chyba kalibrace doteku: 0,0315 mm

Test proveden dne: 13.12.2014

Počet snímaných bodů: 105

Tabulka 17. Test na měrky, kvadrant 2

Osa	Měrka [mm]	Měření 1 [mm]	Měření 2 [mm]	Měření 3 [mm]	Rozdíl 1 [mm]	Rozdíl 2 [mm]	Rozdíl 3 [mm]	Rozdíl [mm]*
<b>X</b>	25,0000	24,9639	24,8865	24,9123	-0,0361	-0,1135	-0,0877	-0,0791
	124,9998	124,9284	124,9378	124,9764	-0,0714	-0,0620	-0,0234	-0,0523
	199,9999	199,9164	199,9526	199,9420	-0,0835	-0,0473	-0,0579	-0,0629
	500,0001	499,9414	499,9689	499,9591	-0,0587	-0,0312	-0,0410	-0,0436
	1000,0007	999,9563	999,9084	999,9237	-0,0444	-0,0923	-0,0770	-0,0712
<b>Y</b>	25,0000	24,9458	24,9728	24,9294	-0,0542	-0,0272	-0,0706	-0,0507
	124,9998	124,9338	124,9421	124,9198	-0,0660	-0,0577	-0,0800	-0,0679
	199,9999	199,9193	199,9546	199,9796	-0,0806	-0,0453	-0,0203	-0,0487
	500,0001	499,9759	499,8640	499,9475	-0,0242	-0,1361	-0,0526	-0,0710
	1000,0007	999,9539	999,9125	999,9287	-0,0468	-0,0882	-0,0720	-0,0690
<b>Z</b>	25,0000	24,9703	24,9831	24,9568	-0,0297	-0,0169	-0,0432	-0,0299
	124,9998	124,9841	124,9526	124,9691	-0,0157	-0,0472	-0,0307	-0,0312
	199,9999	199,9468	200,0018	200,0329	-0,0531	0,0019	0,0330	0,0061

Tabulka 17. Test na měřky, kvadrant 2

	500,0001	500,0411	500,0712	500,0695	0,0410	0,0711	0,0694	0,0605
	1000,0007	1000,1337	1000,0568	1000,0894	0,1330	0,0561	0,0887	0,0926
<b>XY</b>	25,0000	24,9365	24,9517	24,9497	-0,0635	-0,0483	-0,0503	-0,0540
	124,9998	124,8721	124,9216	124,9609	-0,1277	-0,0782	-0,0389	-0,0816
	199,9999	199,9534	199,8563	199,9414	-0,0465	-0,1436	-0,0585	-0,0829
	500,0001	499,9287	499,9750	499,9542	-0,0714	-0,0251	-0,0459	-0,0475
	1000,0007	999,9672	999,9364	999,9826	-0,0335	-0,0643	-0,0181	-0,0386
<b>XZ</b>	25,0000	24,9693	24,9381	24,9753	-0,0307	-0,0619	-0,0247	-0,0391
	124,9998	124,9454	124,9749	124,9116	-0,0544	-0,0249	-0,0882	-0,0558
	199,9999	199,9729	199,9598	199,9612	-0,0270	-0,0401	-0,0387	-0,0353
	500,0001	499,9326	499,9524	499,9738	-0,0675	-0,0477	-0,0263	-0,0472
	1000,0007	1000,0830	1000,0489	1000,0676	0,0823	0,0482	0,0669	0,0658
<b>YZ</b>	25,0000	25,0381	24,9907	25,0527	0,0381	-0,0093	0,0527	0,0272
	124,9998	125,0144	125,0624	125,0330	0,0146	0,0626	0,0332	0,0368
	199,9999	200,0489	200,0197	200,0705	0,0490	0,0198	0,0706	0,0465
	500,0001	500,0656	500,1417	500,0982	0,0655	0,1416	0,0981	0,1017
	1000,0007	1000,1183	1000,0759	1000,0637	0,1176	0,0752	0,0630	0,0853
<b>XYZ</b>	25,0000	24,9571	24,9129	24,9374	-0,0429	-0,0871	-0,0626	-0,0642
	124,9998	124,9915	125,0458	125,0398	-0,0083	0,0460	0,0400	0,0259
	199,9999	200,0586	199,9723	200,0066	0,0587	-0,0276	0,0067	0,0126
	500,0001	500,0256	500,0780	500,0523	0,0255	0,0779	0,0522	0,0519
	1000,0007	1000,0622	1000,0537	1000,0821	0,0615	0,0530	0,0814	0,0653

\*Rozdíly uvedeny v absolutních hodnotách

## Test na měrky, kvadrant 3

Výrobní číslo FaroARM: xxx-xx-xx-xxxx

Verze Firmware: 2.25

Typ doteku: Kuličkový

Chyba kalibrace doteku: 0,0315 mm

Test proveden dne: 13.12.2014

Počet snímaných bodů: 105

Tabulka 18. Test na měrky, kvadrant 3

Osa	Měrka [mm]	Měření 1 [mm]	Měření 2 [mm]	Měření 3 [mm]	Rozdíl 1 [mm]	Rozdíl 2 [mm]	Rozdíl 3 [mm]	Rozdíl [mm]*
<b>X</b>	25,0000	24,9652	24,8942	24,9429	-0,0348	-0,1058	-0,0571	0,0659
	124,9998	124,9294	124,9548	124,9441	-0,0704	-0,0450	-0,0557	0,0570
	199,9999	199,9374	199,9021	199,9765	-0,0625	-0,0978	-0,0234	-0,0612
	500,0001	499,9500	499,9273	499,9616	-0,0501	-0,0728	-0,0385	-0,0538
	1000,0007	999,9013	999,9198	999,9323	-0,0994	-0,0809	-0,0684	-0,0829
<b>Y</b>	25,0000	24,9223	24,9868	24,9521	-0,0777	-0,0132	-0,0479	-0,0463
	124,9998	124,9474	124,9650	124,8755	-0,0524	-0,0348	-0,1243	-0,0705
	199,9999	199,9581	199,9179	199,9074	-0,0418	-0,0820	-0,0925	-0,0721
	500,0001	500,0318	499,9889	500,0442	0,0317	-0,0112	0,0441	0,0215
	1000,0007	999,9684	999,9596	999,9706	-0,0323	-0,0411	-0,0301	-0,0345
<b>Z</b>	25,0000	24,9589	24,9683	24,9220	-0,0411	-0,0317	-0,0780	-0,0503
	124,9998	124,9935	125,0627	125,0548	-0,0063	0,0629	0,0550	0,0372
	199,9999	200,0397	199,9925	200,0482	0,0398	-0,0074	0,0483	0,0269

Tabulka 18. Test na měřky, kvadrant 3

	500,0001	500,0220	500,0498	500,0555	0,0219	0,0497	0,0554	0,0423
	1000,0007	1000,0812	1000,0587	1000,0648	0,0805	0,0580	0,0641	0,0675
<b>XY</b>	25,0000	24,9578	24,9298	24,8544	-0,0422	-0,0702	-0,1456	-0,0860
	124,9998	124,8840	124,9735	124,9389	-0,1158	-0,0263	-0,0609	-0,0677
	199,9999	199,9471	199,9011	199,9283	-0,0528	-0,0988	-0,0716	-0,0744
	500,0001	499,9012	499,8784	499,9200	-0,0989	-0,1217	-0,0801	-0,1002
	1000,0007	999,9397	999,9545	999,9627	-0,0610	-0,0462	-0,0380	-0,0484
<b>XZ</b>	25,0000	24,9428	24,9518	24,9947	-0,0572	-0,0482	-0,0053	-0,0369
	124,9998	124,9659	124,9196	124,9426	-0,0339	-0,0802	-0,0572	-0,0571
	199,9999	199,9872	200,0366	200,0749	-0,0127	0,0367	0,0750	0,0330
	500,0001	499,9789	499,9387	500,0115	-0,0212	-0,0614	0,0114	0,0237
	1000,0007	1000,1113	1000,0697	1000,0420	0,1106	0,0690	0,0413	0,0736
<b>YZ</b>	25,0000	24,9726	24,9281	24,9474	-0,0274	-0,0719	-0,0526	-0,0506
	124,9998	125,0178	125,0743	124,9776	0,0180	0,0745	-0,0222	-0,0234
	199,9999	199,9587	200,0413	200,0528	-0,0412	0,0414	0,0529	0,0177
	500,0001	500,1272	500,0568	500,0843	0,1271	0,0567	0,0842	0,0893
	1000,0007	1000,0723	1000,0133	1000,0312	0,0716	0,0126	0,0305	0,0382
<b>XY Z</b>	25,0000	24,9197	24,9568	24,9325	-0,0803	-0,0432	-0,0675	-0,0637
	124,9998	124,9799	125,0537	125,0491	-0,0199	0,0539	0,0493	0,0278
	199,9999	200,0574	200,0249	199,9915	0,0575	0,0250	-0,0084	-0,0247
	500,0001	500,0315	500,0659	500,0568	0,0314	0,0658	0,0567	0,0513
	1000,0007	1000,0152	1000,0426	1000,0782	0,0145	0,0419	0,0775	0,0446

\*Rozdíly uvedeny v absolutních hodnotách

## Test na měrky, kvadrant 4

Výrobní číslo FaroARM: xxx-xx-xx-xxxx

Verze Firmware: 2.25

Typ doteku: Kuličkový

Chyba kalibrace doteku: 0,0315 mm

Test proveden dne: 13.12.2014

Počet snímaných bodů: 105

Tabulka 19. Test na měrky, kvadrant 4

Osa	Měrka [mm]	Měření 1 [mm]	Měření 2 [mm]	Měření 3 [mm]	Rozdíl 1 [mm]	Rozdíl 2 [mm]	Rozdíl 3 [mm]	Rozdíl [mm]*
<b>X</b>	25,0000	24,9556	24,9762	24,9463	-0,0444	-0,0238	-0,0537	0,0406
	124,9998	124,9201	124,9001	124,9684	-0,0797	-0,0997	-0,0314	0,0703
	199,9999	199,9796	199,9638	199,9155	-0,0203	-0,0361	-0,0844	0,0469
	500,0001	499,9388	499,9293	499,9546	-0,0613	-0,0708	-0,0455	-0,0592
	1000,0007	999,8831	999,9437	999,9098	-0,1176	-0,0570	-0,0909	-0,0885
<b>Y</b>	25,0000	24,9367	24,9681	24,9469	-0,0633	-0,0319	-0,0531	-0,0494
	124,9998	124,9835	124,9569	124,9182	-0,0163	-0,0429	-0,0816	-0,0469
	199,9999	199,9409	199,9629	199,9732	-0,0590	-0,0370	-0,0267	-0,0409
	500,0001	499,9729	500,0336	499,9528	-0,0272	0,0335	-0,0473	-0,0137
	1000,0007	999,9680	999,9217	999,9326	-0,0327	-0,0790	-0,0681	-0,0599
<b>Z</b>	25,0000	24,9487	24,9129	24,9763	-0,0513	-0,0871	-0,0237	-0,0540
	124,9998	124,9783	124,9528	124,9241	-0,0215	-0,0470	-0,0757	-0,0481
	199,9999	199,9528	199,9832	200,0368	-0,0471	-0,0167	0,0369	0,0090

Tabulka 19. Test na měřky, kvadrant 4

	500,0001	500,0454	499,9496	500,0112	0,0453	-0,0505	0,0111	0,0020
	1000,0007	1000,0387	1000,0101	999,9547	0,0380	0,0094	-0,0460	-0,0005
	25,0000	24,8751	24,9282	24,9539	-0,1249	-0,0718	-0,0461	-0,0809
<b>XY</b>	124,9998	124,9348	124,9681	124,8931	-0,0650	-0,0317	-0,1067	-0,0678
	199,9999	199,9043	199,9235	199,8786	-0,0956	-0,0764	-0,1213	-0,0978
	500,0001	499,9638	499,9781	499,9234	-0,0363	-0,0220	-0,0767	-0,0450
	1000,0007	999,9576	999,9573	999,9123	-0,0431	-0,0434	-0,0884	-0,0583
	25,0000	24,9458	24,9023	24,9781	-0,0542	-0,0977	-0,0219	-0,0579
<b>XZ</b>	124,9998	124,9445	124,9568	124,9367	-0,0553	-0,0430	-0,0631	-0,0538
	199,9999	199,9716	199,9265	199,9630	-0,0283	-0,0734	-0,0369	-0,0462
	500,0001	500,0142	499,9636	500,0468	0,0141	-0,0365	0,0467	0,0081
	1000,0007	999,9481	999,9547	1000,0076	-0,0526	-0,0460	0,0069	0,0306
	25,0000	24,9596	24,9368	25,0263	-0,0404	-0,0632	0,0263	-0,0258
<b>YZ</b>	124,9998	124,9548	125,0263	125,0691	-0,0450	0,0265	0,0693	0,0169
	199,9999	200,0388	199,9467	200,0196	0,0389	-0,0532	0,0197	0,0018
	500,0001	500,0719	500,0576	500,0122	0,0718	0,0575	0,0121	0,0471
	1000,0007	1000,1306	1000,0689	1000,0548	0,1299	0,0682	0,0541	0,0841
	25,0000	24,9370	24,9359	24,9815	-0,0630	-0,0641	-0,0185	-0,0485
<b>XYZ</b>	124,9998	124,9742	125,0498	125,0282	-0,0256	0,0500	0,0284	0,0176
	199,9999	199,9539	199,9816	199,9366	-0,0460	-0,0183	-0,0633	-0,0425
	500,0001	500,0258	500,0659	499,9764	0,0257	0,0658	-0,0237	0,0226
	1000,0007	999,9217	999,9541	999,9453	-0,0790	-0,0466	-0,0554	-0,0603

\*Rozdíly uvedeny v absolutních hodnotách



## Test na měření koule

**Výrobní číslo FaroARM:** xxx-xx-xx-xxxx

**Verze Firmware:** 2.25

**Typ doteku:** Kuličkový

**Chyba kalibrace doteku:** 0,0306 mm

**Test proveden dne:** 14.12.2014

**Počet snímaných bodů:** 25

Tabulka 20. Test na měření koule

<b>Index</b>	<b>Jmenovitá hodnota [mm]</b>	<b>Odchylka od jmenovité hodnoty [mm]</b>
1	25,0001	0,0042
2	25,0001	0,0121
3	25,0001	-0,0010
4	25,0001	0,0090
5	25,0001	-0,0302
6	25,0001	-0,0224
7	25,0001	0,0213
8	25,0001	-0,0094
9	25,0001	-0,0093
10	25,0001	0,0021
11	25,0001	-0,0201
12	25,0001	0,0120
13	25,0001	-0,0015
14	25,0001	-0,0226

Tabulka 20. Test na měření koule

15	25,0001	0,0391
16	25,0001	0,0006
17	25,0001	-0,0208
18	25,0001	-0,0173
19	25,0001	0,0099
20	25,0001	-0,0037
21	25,0001	0,0122
22	25,0001	0,0178
23	25,0001	0,0131
24	25,0001	0,0002
25	25,0001	0,0048
<b>Chyba snímání <math>R_{\max} - R_{\min}</math></b>		<b>0,0693</b>

## Test na měření tyče s koulemi

**Výrobní číslo FaroARM:** xxx-xx-xx-xxxx

**Verze Firmware:** 2.25

**Typ doteku:** Kuličkový

**Chyba kalibrace doteku:** 0,0306 mm

**Test proveden dne:** 14.12.2014

**Počet snímaných bodů:** 18

Tabulka 21. Test na měření tyče s koulemi

Osa	Jmenovitá hodnota koule č.1 [mm]	Naměřená hodnota koule č.1 [mm]	Jmenovitá hodnota koule č.2 [mm]	Naměřená hodnota koule č.2 [mm]	Jmenovitá vzdálenost koulí [mm]	Vypočtená vzdálenost koulí [mm]	Rozdíl [mm]*
<b>X</b>	40,0000	40,0045	40,0000	40,0110	200,0001	199,9845	-0,0156
	40,0000	40,0065	40,0000	39,9985	200,0001	200,0024	0,0023
	40,0000	39,9865	40,0000	39,9879	200,0001	200,0064	0,0063
<b>Y</b>	40,0000	40,0045	40,0000	40,0110	200,0001	200,0076	0,0075
	40,0000	40,0065	40,0000	39,9985	200,0001	200,0111	0,0110
	40,0000	39,9865	40,0000	39,9879	200,0001	200,0086	0,0085
<b>Z</b>	40,0000	40,0045	40,0000	40,0110	200,0001	199,9983	-0,0018
	40,0000	40,0065	40,0000	39,9985	200,0001	200,0035	0,0034
	40,0000	39,9865	40,0000	39,9879	200,0001	200,0043	0,0042

\*Rozdíly uvedeny v absolutních hodnotách

## Test na hmotný etalon délky Koba step

Výrobní číslo FaroARM: xxx-xx-xx-xxxx

Verze Firmware: 2.25

Typ doteku: Kuličkový

Chyba kalibrace doteku: 0,0308 mm

Test proveden dne: 15.12.2014

Počet snímaných bodů: 96

Tabulka 22. Test na hmotný etalon délky Koba step

Jmenovitá hodnota [mm]	Měrka [mm]	Měření 1 [mm]	Měření 2 [mm]	Měření 3 [mm]	Rozdíl 1 [mm]	Rozdíl 2 [mm]	Rozdíl 3 [mm]	Rozdíl [mm]*
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
20,0000	19,9288	19,9314	19,9285	19,9264	0,0026	-0,0003	-0,0024	0,0000
40,0000	39,9731	39,9798	39,9720	39,9795	0,0067	-0,0011	0,0064	0,0040
60,0000	59,9031	59,9123	59,9156	59,9084	0,0092	0,0125	0,0053	0,0090
80,0000	79,9580	79,9586	79,9499	79,9543	0,0006	-0,0081	-0,0037	-0,0037
100,0000	99,9071	99,9102	99,9045	99,9780	0,0031	-0,0026	0,0709	0,0238
120,0000	119,9613	119,9653	119,9687	119,9679	0,0040	0,0074	0,0066	0,0060
140,0000	139,9152	139,9223	139,9232	139,9234	0,0071	0,0080	0,0082	0,0078
160,0000	160,0019	160,0299	160,0000	159,9964	0,0280	-0,0019	-0,0055	0,0069
180,0000	179,9312	179,9400	179,9284	179,9376	0,0088	-0,0028	0,0064	0,0041
200,0000	199,9752	199,9686	199,9634	199,9761	-0,0066	-0,0118	0,0009	-0,0058
220,0000	219,9045	219,9087	219,9089	219,9076	0,0042	0,0044	0,0031	0,0039
240,0000	239,9647	239,9878	239,9647	239,9628	0,0231	0,0000	-0,0019	0,0071
260,0000	259,8933	259,9002	259,8959	259,8546	0,0069	0,0026	-0,0387	-0,0097
280,0000	279,9667	279,9687	279,9845	279,9684	0,0020	0,0178	0,0017	0,0072
300,0000	299,9205	299,9278	299,9187	299,9243	0,0073	-0,0018	0,0038	0,0031
320,0000	319,9511	319,9548	319,9605	319,9547	0,0037	0,0094	0,0036	0,0056
340,0000	339,9054	339,9112	339,9023	339,9187	0,0058	-0,0031	0,0133	0,0053
360,0000	360,0142	360,0094	360,0112	360,0279	-0,0048	-0,0030	0,0137	0,0020
380,0000	379,9678	379,9721	379,9858	379,9634	0,0043	0,0180	-0,0044	0,0060
400,0000	399,9555	399,9558	399,9586	399,9679	0,0003	0,0031	0,0124	0,0053
420,0000	419,9035	419,9112	419,9223	419,9034	0,0077	0,0188	-0,0001	0,0088
440,0000	439,9626	439,9636	439,9612	439,9678	0,0010	-0,0014	0,0052	0,0016
460,0000	459,8868	459,8742	459,8898	459,8626	-0,0126	0,0030	-0,0242	-0,0113
480,0000	480,0330	480,0300	480,0333	480,0372	-0,0030	0,0003	0,0042	0,0005

Tabulka 22. Test na hmotný etalon délky Koba step

500,0000	499,9577	499,9587	499,9735	499,9561	0,0010	0,0158	-0,0016	0,0051
520,0000	519,9439	519,9426	519,9231	519,9356	-0,0013	-0,0208	-0,0083	-0,0101
540,0000	539,8931	539,8908	539,8985	539,8967	-0,0023	0,0054	0,0036	0,0022
560,0000	559,9710	559,9746	559,9766	559,9826	0,0036	0,0056	0,0116	0,0069
580,0000	579,8977	579,8963	579,8915	579,8914	-0,0014	-0,0062	-0,0063	-0,0046
600,0000	599,9706	599,9801	599,9745	599,9743	0,0095	0,0039	0,0037	0,0057
620,0000	619,8976	619,8889	619,8986	619,8943	-0,0087	0,0010	-0,0033	-0,0037

**FARO Arm Fusion 12 (6 os)**

Opakovatelnost měření jednoho bodu (Single Point 2 Sigma): **0,104 mm**

Délková přesnost: **±0,146 mm**

**Kalibraci provedl:** Jaroslav Procházka

**V Uh. Brodě dne :** 12-15.12.2014

Konec kalibračního listu.

## 10 VYPRACOVÁNÍ KALIBRAČNÍHO LISTU PRO MĚŘENÍ NA SMS FARO

KALIBRAČNÍ LIST č. AKL-00002/14

**Datum vystavení kal. listu:** 15.12.2014

**Ing. Petr Žáček**

---

technický vedoucí KL

- Zadavatel** : Název firmy  
Ulice  
Město
- Měřidlo** : Měřidlo Jig A5X
- Výrobce** : -
- Evidenční číslo** : K 161
- Výrobní číslo** : -
- Použité etalony** : FARO Arm Edge 9 (evidenční číslo MD-PB-148) zkalibrováno dne 27.11.2012, Kalibrační list č.E09051228320-11272012-230P. Registrační teploměr-vlhkoměr (evidenční číslo MTV-PB-067) zkalibrován dne 29.11.2013, Kalibrační list č.AKL-TM-0760/13.
- Prohlášení KL** : Použitá měřidla a další přístroje mají zajištěnou návaznost na národní etalony primárních laboratoří nebo etalony akreditovaných laboratoří.
- Podmínky měření** : Teplota:  $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$
- Metoda měření** : Měření se uskutečnilo podle kal. postupu č. KP-PB-28

**Nejistota měření** :  $U = 0,050$  mm

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $k=2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA 4/02.

**Výsledek měření** :

Typ tabulky	Naměřené hodnoty
Název	středové body
Jednotky	Milimetry
CSYS	Obecný
Max chyba	0,582
Min chyba	0,280
Střední chyba	0,429
StdDev	0,151

Tabulka 23. Naměřené hodnoty.

Název	Source Pt (x)	Source Pt (y)	Source Pt (z)	Destination Pt (x)	Destination Pt (y)	Destination Pt (z)	Vzdálenost
<b>Závit M10 pravý</b>	1742,696	464,800	173,608	1742,500	465,000	173,600	0,280
<b>Závit M10 levý</b>	1742,885	-464,820	173,616	1742,500	-465,000	173,600	0,425
<b>Šroub M10 zadní</b>	2245,418	-167,980	194,975	2246,000	-168,000	195,000	0,582

Tabulka 24. Naměřené hodnoty

Název	Vlastnost	Nominální	Měřený
<b>Závit M10 pravý</b>	X	1742,500	1742,696
<b>Závit M10 pravý</b>	Y	465,000	464,800
<b>Závit M10 pravý</b>	Z	173,600	173,608
<b>Závit M10 levý</b>	X	1742,500	1742,885
<b>Závit M10 levý</b>	Y	-465,000	-464,820
<b>Závit M10 levý</b>	Z	173,600	173,616
<b>Šroub M10 zadní</b>	X	2246,000	2245,418
<b>Šroub M10 zadní</b>	Y	-168,000	-167,980
<b>Šroub M10 zadní</b>	Z	195,000	194,975
<b>Šroub M10 přední</b>	X	2186,000	2185,608
<b>Šroub M10 přední</b>	Y	-168,000	-167,742
<b>Šroub M10 přední</b>	Z	195,000	194,971
<b>Upínací čep pravý</b>	X	2238,000	2235,793
<b>Upínací čep pravý</b>	Z	320,000	321,221
<b>Upínací čep levý</b>	X	2238,000	2236,925
<b>Upínací čep levý</b>	Z	320,000	320,634
<b>Ucho levé</b>	X	2390,200	2389,950
<b>Ucho levé</b>	Y	-575,000	-575,105
<b>Ucho levé</b>	Z	711,100	710,947
<b>Ucho pravé</b>	X	2390,200	2390,451
<b>Ucho pravé</b>	Y	575,300	575,847
<b>Ucho pravé</b>	Z	711,100	711,203



Tabulka 25. Naměřené hodnoty.

Název	Vlastnost	Nominální	Měřený	Odchylka
<b>RH H bod</b>	X	2059,000	2055,324	-3,676
<b>RH H bod</b>	Z	355,000	364,931	9,931
<b>úhel 1 RH H bod</b>	3D úhel (1)	23,000	21,888	-1,112
<b>LH H bod</b>	X	2059,000	2053,871	-5,129
<b>LH H bod</b>	Z	355,000	359,459	4,459
<b>úhel LH H bod</b>	3D úhel (1)	23,000	21,946	-1,054

**Kalibraci provedl:** Jaroslav Procházka

**V Uh. Brodě dne :** 15.12.2014

Konec kalibračního listu.

## ZÁVĚR

Náplní této diplomové práce bylo vytvoření kalibračního postupu a kalibračního listu pro kalibraci měřicího ramene a kalibrace pomocí měřicího ramene.

V praktické části jsem vytvořil kompletní kalibrační postup jak pro kalibraci měřicího ramene, tak pro kalibraci pomocí měřicího ramene. Pro vytvoření kalibračního postupu pro kalibraci měřicího ramene jsem použil doporučení výrobce, s kterým jsem komunikoval, tak abychom měli částečně totožné postupy. Část kalibrace se shodovala s normami pro souřadnicové měřicí stoje. Následně jsem postup doplnil o další typy měření, které prověří kalibrované rameno ještě lépe. Zde se jednalo především o měření kalibrační tyče s koulemi a měření hmotného etalonu délky Kobastep. Zvolení těchto dvou etalonů bylo především z důvodu, že je naše firma již vlastní. U kalibračního postupu pro kalibraci pomocí měřicího ramene jsem především vycházel z dokumentu ČMS pro kalibraci délkových a geometrických veličin. Tento dokument jsem aplikoval, na možnosti a vybavení naší akreditované kalibrační laboratoře, schopnosti měřicího ramene a software.

Dále jsem vytvořil vzorové kalibrační listy pro kalibraci měřicího ramene i kalibraci pomocí měřicího ramene. Vzorový kalibrační list pro kalibraci měřicího ramene byl vytvořen na dvanáct let starém měřicím rameni, které zákazník vyměnil za novější typ ramene. Délka kalibrace ramene je mezi čtyřmi až pěti dny. Kdy rameno i po dvanácti letech používání vyšlo v toleranci výrobce a to s opakovatelností měření jednoho bodu 0,104 mm a délkovou přesností  $\pm 0,146$  mm. Kalibrační list pro kalibraci pomocí měřicího ramene jsem vytvářel pro zákazníka z oblasti automobilového průmyslu, konkrétně pro výrobce automobilových sedaček kdy potřeboval změřit kalibrační přípravek na kostru sedačky. V kalibračním listě jsou hodnoty naměřené a nominální. Vyhodnocení kalibračního listu si zákazník provádí sám.

Cíl mé diplomové práce se mi podařilo splnit do předem daného termínu, který byl dán dnem auditu v naší firmě. U auditu se nám podařilo oba kalibrační postupy obhájit a získat tak rozšíření akreditace pro naši akreditovanou kalibrační laboratoř.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] FARO - 3D měřicí přístroje a ramena. [online]. [cit. 2015-01-21]. Dostupné z: <http://www.merici-pristroje.cz/faro-2/>
- [2] Měřicí ramena - přesné dotykové i bezdotykové (laserové) měření. [online]. [cit. 2015-01-21]. Dostupné z: <http://www.metrotest.cz/uvod.html>
- [3] FARO Arm. [online]. [cit. 2015-01-21]. Dostupné z: <http://www.faro.com/products/metrology/measuring-arm-faro-gage/overview>
- [4] MELOUN M., MILITKÝ J.: Statistické zpracování experimentálních dat. East Publishing, Praha, 1998.
- [5] PERNIKÁŘ, Jiří; TYKAL, Miroslav. *Strojírenská metrologie 2*. první. Brno: Akademické nakladatelství CERN, 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.
- [6] EA 4/02. Vyjadřování nejistot měření při kalibracích. Praha : Český institut pro akreditaci, 2001. 49 s. Dostupné z WWW: <[http://www.cai.cz/files/01\\_08-P001%20EA%2004\\_02\\_20061023.pdf](http://www.cai.cz/files/01_08-P001%20EA%2004_02_20061023.pdf)>.
- [7] GUM, Pokyny k vyjadřování nejistoty měření. Přeloženo z anglického originálu: JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data. Vyd. v pdf, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. Dostupný z <[http://www.unmz.cz/sborniky\\_th/seznam1.htm](http://www.unmz.cz/sborniky_th/seznam1.htm)>
- [8] LEGISLATIVNÍ RÁMEC METROLOGICKÉHO SYSTÉMU ČR. [online]. [cit. 2015-01-21]. Dostupné z: <http://www.cmi.cz/index.php?lang=1&wdc=876>
- [9] *MANAGEMENT KALIBRACÍ MĚŘIDEL* [online]. BRNO, 2010 [cit. 2015-01-21]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=28596](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28596). DIPLOMOVÁ PRÁCE. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$\Delta X$	Absolutní chyba měření
$X$	Skutečná hodnota
$X'$	Naměřená hodnota
$\delta$	Relativní chyba měření
$n$	Počet měření
$\bar{x}$	Výběrový průměr
$s_x$	Výběrová směrodatná odchylka
$u_A$	Standartní nejistota typu A
$k_S$	Koeficient závislosti
$u_B$	Standartní nejistota typu B
$Z_j$	Zdroj nejistot
$\Delta z_{\max}$	Maximální rozsah změn
$\chi$	Konstanta
$\Delta z$	Rozdělení pravděpodobností odchylek
$u_x$	Kombinovaná standartní nejistota
$U_x$	Rozšířená standartní nejistota
$k_U$	Koeficient rozšíření
$l_{s1}$	vliv použitého etalonu
$l_{ix}$	vliv rozlišitelnosti měřidla
$l_t$	vliv rozdílu teplot
$l_\alpha$	vliv odchylky teploty od 20°C a rozdílných koeficientů roztažnosti
$L$	měřicí rozsah v metrech
$t_1$	teplota etalonové koncové měřky
$t_2$	teplota SMS

---

t	skutečná hodnota teploty prostředí
$\alpha_1$	koeficient teplotní roztažnosti etalonové koncové měrky
$\alpha_2$	koeficient teplotní roztažnosti SMS
ČMI	Český Metrologický Institut
ČMS	Česká metrologická společnost
SMS	Souřadnicový měřicí stroj
CMM	Souřadnicový měřicí stroj
ČSN	Česká technická norma
EA	European co-operation for Accreditation
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
GPS	Globální triangulační systém
VDI	Německá norma
VDE	Německá norma
KL	Kalibrační laboratoř
KP	Kalibrační postup
P	Chyba snímání
MPE <sub>p</sub>	Maximální dovolená chyba snímání

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1. FARO Arm Fusion [3] .....	14
Obrázek 2. Specifikace série Arm Edge [1] .....	15
Obrázek 3. Specifikace série Arm Fusion [1].....	16
Obrázek 4. Specifikace série Arm Prime [1] .....	17
Obrázek 5. Grafické vyjádření chyb měření. Absolutní chyba $\Delta$ , Náhodná chyba $\delta$ , Systematická chyba $\Delta_s$ [4].....	19
Obrázek 6. Gaussovo rozdělení. [5].....	21
Obrázek 7. Intervaly pravděpodobnosti. [5] .....	21
Obrázek 8. Vliv počtu měření $n$ na hodnotu $x$ . [5] .....	22
Obrázek 9. Metrologická návaznost měřidel. [9] .....	32
Obrázek 10. Měřidlo měřené na souřadnicovém měřícím stroji FARO.....	36
Obrázek 11. Rameno FARO.....	37
Obrázek 13. Přípravek na uchycení koncových měrek.....	39
Obrázek 12. Přípravek na metrovou měрку. ....	39
Obrázek 14. Tyč s koulemi. ....	40
Obrázek 15. Hmotný etalon délky Koba step. ....	40
Obrázek 16. Hmotný etalon délky Koba step. ....	41
Obrázek 17. Mobilní stojan na upnutí ramene.....	42

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1. Závislost koeficientu $k_s$ na počtu měření $n$ .....	25
Tabulka 2. Koeficient rozšíření s pravděpodobností pokrytí.....	29
Tabulka 3. Rozdělovník.....	52
Tabulka 4. Měřicí schopnosti kalibrace pro kalibraci měřicího ramene.....	53
Tabulka 5. Karta měřidla. ....	55
Tabulka 6. Vzorové naměřené hodnoty při výpočtu nejistot pro kalibraci měřicího ramene. ....	55
Tabulka 7. Výpočet nejistot pro kalibraci měřicího ramene. ....	55
Tabulka 8. Doba temperace ve stálé laboratoři.....	59
Tabulka 9. Doba temperace v prostorách zákazníka. ....	60
Tabulka 10. Rozdělovník.....	62
Tabulka 11. Výpočet měřicí schopnosti kalibrace pro kalibraci pomocí měřicího ramene. ....	63
Tabulka 12. Měření opakovatelnosti jednoho bodu, kvadrant 1.....	67
Tabulka 13. Měření opakovatelnosti jednoho bodu, kvadrant 2.....	68
Tabulka 14. Měření opakovatelnosti jednoho bodu, kvadrant 3.....	70
Tabulka 15. Měření opakovatelnosti jednoho bodu, kvadrant 4.....	71
Tabulka 16. Test na měřky, kvadrant 1 .....	73
Tabulka 17. Test na měřky, kvadrant 2 .....	75
Tabulka 18. Test na měřky, kvadrant 3 .....	77
Tabulka 19. Test na měřky, kvadrant 4 .....	79
Tabulka 20. Test na měření koule.....	81
Tabulka 21. Test na měření tyče s koulemi .....	83
Tabulka 22. Test na hmotný etalon délky Koba step.....	84
Tabulka 23. Naměřené hodnoty.....	87
Tabulka 24. Naměřené hodnoty.....	88
Tabulka 25. Naměřené hodnoty.....	89

