



Český institut pro akreditaci, o.p.s.

Olšanská 54/3, 130 00 Praha 3

Strana 1 (celkem 40)

Zpracovala: Ing. Zdena Drdová

Datum zpracování: 15.11.2012

## ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA č. 613-PRM-U001-012

### k úkolu TR

Zpracování podkladů pro průběžné sjednocování postupů  
akreditovaných kalibračních laboratoří v oboru  
geometrických veličin

[úkol PRM 2012 č. VII/4/12 ]

Řešitel : Ing. Zdena Drdová

Vypracoval: Ing. Zdena Drdová  
Spoluřešitelé: Ing. Václav Duchoň  
Ing. Bc. František Dvořáček

Schválil: Ing. Milan Badal

Rozdělovník: 2 x ÚNMZ  
1 x ČIA 0200  
1 x ČIA- útvar řešitele  
2 x oponenti

výtisk č.

## RESUMÉ

V rámci odstraňování bariér v mezinárodním obchodu zejména se zeměmi EU se v podmínkách ČR jeví vysoce aktuální problematika různé míry sjednocení postupů metrologických laboratoří v oboru vybraných geometrických veličin; tento úkol poskytuje řešení pro obor délka a rovinný úhel. Pro metrologické laboratoře i činnosti v rámci akreditace kalibračních laboratoří dle normy ČSN EN ISO/IEC 17 025:2005 je žádoucí určitá míra sjednocení postupů kalibrace, stanovení jednoznačných podmínek, které je nutno plnit a stanovení jednoznačného přístupu k validaci zařízení. Z pohledu metrologie v ČR je vyřešení problematiky minimální unifikace a vazby na sumarizovanou dokumentaci pro metrologické laboratoře výrazným přínosem zejména s ohledem na porovnatelnost jejich výsledků a vyhodnocování výkonu metrologických laboratoří, s důrazem na akceptovatelnost nejen v národním měřítku, ale i z pohledu mezinárodního v zemích EU.

Mezi hlavní cíle úkolu patří stanovit oblasti s nutnou minimální mírou sjednocení postupů při činnosti a posuzování akreditovaných kalibračních laboratoří (AKL) geometrických veličin, sumarizovat aplikovanou a dostupnou normativně-technickou dokumentaci, definovat činnosti (metodiky, podmínky) akceptovatelné v rámci posuzování kalibračních laboratoří, stanovit jednoznačné požadavky na AKL v oblasti geometrických veličin, stanovit jednoznačný přístup k validaci zařízení v oboru geometrických veličin, doporučit použití minimální unifikace a vazby na sumarizovanou dokumentaci s ohledem na dosavadní zkušenosti v akreditačním procesu a doporučit akreditovaným laboratořím (AKL) a odborným posuzovatelům AKL využití závěrů příslušných řešení.

# OBSAH

RESUMÉ.....	2
OBSAH.....	3
1. ÚVOD.....	4
2. VLASTNÍ ŘEŠENÍ.....	4
2.1 PŘEHLED SUBJEKTŮ AKL S AKREDITOVANÝMI KALIBRAČNÍMI POSTUPY V OBORU DÉLKA A ROVINNÝ ÚHEL.....	4
2.2 ZDROJE ROZDÍLNOSTÍ V PŘÍSTUPU A DOKUMENTACI AKL PŘI KALIBRACI..... DÉLKOVÝCH MĚŘIDEL A NÁVRHY ŘEŠENÍ.....	5
2.2.1 Pracovníci.....	5
2.2.2 Prostory a podmínky prostředí.....	5
2.2.3 Zkušební a kalibrační metody a validace metod.....	6
2.2.4 Uvádění výsledků.....	7
2.3 ROZDĚLENÍ KALIBRACÍ.....	8
2.3.1 Popisy kalibrace.....	8
2.3.2 Popisy měřidel.....	11
Skupina KONCOVÉ MĚRKY.....	11
Skupina POSUVNÁ MĚŘIDLA.....	13
Skupina ČÁRKOVÁ MĚŘIDLA.....	20
Skupina MĚŘIDLA ROVINNÉHO ÚHLU.....	27
2.4 NEJISTOTY MĚŘENÍ.....	34
2.5 LITERATURA A DOKUMENTAČNÍ ZDROJE .....	38
3. ZÁVĚR.....	38
4. SEZNAM PŘÍLOH (č.1 až 8).....	40

## 1. ÚVOD

Metrologické laboratoře (akreditované i neakreditované) a orgány posuzující shodu metrologických laboratoří se v rámci své činnosti potýkají s problémem různé míry sjednocení postupů. V oboru geometrických veličin je pro metrologické laboratoře i činnosti v rámci akreditace kalibračních laboratoří dle normy ČSN EN ISO/IEC 17 025:2005 žádoucí určitá míra sjednocení postupů kalibrace, stanovení jednoznačných podmínek, které je nutno plnit a stanovení jednoznačného přístupu k validaci zařízení. Z pohledu metrologie v ČR je vyřešení problematiky minimální unifikace a vazby na sumarizovanou dokumentaci pro metrologické laboratoře výrazným přínosem zejména s ohledem na porovnatelnost poskytovaných výsledků a vyhodnocování výkonu metrologických laboratoří, s důrazem na jejich akceptovatelnost nejen v národním měřítku, ale i z pohledu mezinárodního v zemích EU.

## 2. VLASTNÍ ŘEŠENÍ

Vlastní řešení úkolu proběhlo v následujících krocích.

### 2.1. PŘEHLED SUBJEKTŮ AKL S AKREDITOVANÝMI KALIBRAČNÍMI POSTUPY V OBORU DÉLKA A ROVINNÝ ÚHEL

Kalibrační postupy pro kalibrace měřidel délky má v současné době akreditováno cca 33 subjektů a pro kalibrace měřidel rovinného úhlu je to cca 25 subjektů; analyzovány byly v tabulce uvedené akreditované laboratoře, jejichž výběr byl proveden na základě relevantnosti jejich zaměření v oboru. Do tabulek nebyly zařazeny hodnoty AKL pro velkou specifičnost měření vztahujícím se spíše k jiným oborům měření a laboratoř ČMI. Jedna z uvedených laboratoří v současnosti ukončila svou činnost, nicméně v nejbližší době by měla být nahrazena laboratoří s obdobným rozsahem prováděných kalibrací. Na základě vybraných příloh k Osvědčení o akreditaci byl proveden rozbor akreditovaných oblastí, rozsahů a aplikovaných nejistot měření, které jsou obsaženy v tabulkách v příloze č. 2 této zprávy – s upozorněním, že byl zachován způsob prezentace činností jednotlivých kalibračních laboratoří tak, jak je uvádějí jejich přílohy k Osvědčení o akreditaci. Řešitelé k tomuto způsobu uvedení přestoupili se záměrem poskytnout v souhrnu důkaz o nejednotném přístupu k tvorbě dokumentace kalibračních laboratoří a to i přes obrovské úsilí pracovníků i spolupracovníků ČIA (posuzovatelů), což je dalším důkazem potřeby minimální unifikace v této oblasti. Řešitelé v příloze č. 3 této zprávy uvádějí návrh na řešení, tedy příklad způsobu zpracování příloh k Osvědčení o akreditaci ve vybraných oblastech.

## **2.2. ZDROJE ROZDÍLNOSTÍ V PŘÍSTUPU A DOKUMENTACI AKL PŘI KALIBRACI DÉLKOVÝCH MĚŘIDEL A NÁVRHY ŘEŠENÍ**

Oblast kalibrací délkových měřidel je velmi široká a zahrnuje široké pásmo kalibrovaných položek od tzv. komunálních měřidel až po složité souřadnicové stroje nebo laserové interferometry.

Měření úhelníků víceméně zasahuje do oboru délka, i v oblasti rovinného úhlu je kalibrováno široké spektrum měřidel, nicméně četnost několika druhů měřidel výrazně převyšuje ostatní (úhlooměry, úhelníky, libely - převážně strojní a stavební).

Je tedy patrné, že kalibrační laboratoře provádějí měření převážně pracovních měřidel, přičemž kalibrace přesných etalonů, jako např. optických polygonů, autokolimátorů, přesných elektronických libel atd., provádí v ČR pouze ČMI.

Zejména v oblasti libel se názvosloví jednotlivých AKL často rozchází, kdy libely jsou označovány jako vodováhy, sklonoměry bývají často chybně označovány jako libely či vodováhy a v některých případech je sklonoměr označován jako úhloměr.

V tomto úkolu budou řešena zejména měřidla, pro jejichž kalibrace má zpracováno kalibrační postupy větší množství laboratoří a měřidla, kde se často vyskytují problémy v nesprávném rozsahu kalibrace, v názvosloví, nedodržení správných podmínek kalibrace apod. Z rozmanitosti kalibrovaných položek plynou různé nároky na úroveň vzdělání a výcviku pracovníků, prostor, vybavení, propracovanost kalibračních postupů, validaci, výpočet nejistot.

### **2.2.1. Pracovníci**

Stanovení kvalifikačních požadavků na pracovníky včetně požadavku na jejich praxi je na jednotlivých laboratořích a při posuzování se vychází z požadavků normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2005, přičemž posuzovatelé berou v úvahu obecně zavedená a aplikovaná pravidla a zvyklosti. Při posuzování je požadováno doložení odborné způsobilosti prostřednictvím osobního certifikátu resp. osvědčení pro oblasti, jejichž prováděním byl příslušný pracovník pověřen. Akceptovatelná je i absence takového osvědčení s podmínkou, že pracovník provádí příslušné kalibrace pod dozorem a v odpovědnosti osoby, která může svou způsobilost osvědčením prokázat. Ověření způsobilosti probíhá i v rámci vlastního posuzování, kdy jednotliví pracovníci prokazují prostřednictvím witness-auditů a pohovorů s posuzovatelem svou způsobilost.

Je doporučeno tuto praxi zachovat.

#### **Téma:**

Délkových měřidel je velké množství typů někdy se lišících jen obchodním názvem a v takových případech by osobní certifikát musel obsahovat neúměrné množství položek. Katalogy délkových měřidel obsahují stovky položek.

#### **Návrh řešení:**

Rozdělit délková měřidla do skupin a v rámci posuzování vyžadovat certifikát pro příslušnou skupinu.

### **2.2.2. Prostory a podmínky prostředí**

Posuzování vhodnosti prostorů a podmínek prostředí vychází z požadavku kritéria 5.3 normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2005, kde jsou stanoveny obecné požadavky a konkrétní pak vycházejí z metrologických specifikací. Zvláštní pozornost musí být věnována kalibračním prováděním mimo stále prostory laboratoře, které jsou ale v oboru délka a úhel takto

realizovány výjimečně, spíš se to týká speciálních zařízení, která nejsou předmětem tohoto úkolu. Jednotlivé laboratoře dokumentují referenční podmínky (teplotu) v kalibračních postupech, což je také posuzovateli v rámci auditu hodnoceno a jimi je sledováno i respektování zákonných či předpisových požadavků. V průběhu posuzování v oboru délka a rovinný úhel v rámci akreditace je kalibrační laboratoří prokazován způsob sledování podmínek prostředí (teploty) a jejich zohlednění při výpočtu nejistoty měření.

Referenční teplota pro měření délky a úhlu je 20 °C, obecně platí, že měřidla rovinného úhlu nejsou tolik náchylná na rozdíl teploty od 20°C, jako měřidla délky.

**Téma:**

- Referenční teplota je teoretické číslo bez tolerance a podmínky dodržení této hodnoty v určitých mezích jsou ponechány na jednotlivých laboratořích.
- Akreditované laboratoře v oboru délka a rovinný úhel disponují ve velké míře klimatizací, jejíž úroveň je různá.
- Kalibrace prováděné mimo stálé prostory laboratoře, kde se teplota může pohybovat v širokých mezích.
- Obtížné stanovení vlivu teploty na nejistotu měření pro měřidla rovinného úhlu, která nejsou tolik náchylná na rozdíl teploty od 20°C jako měřidla délky. U většiny těchto měřidel je však extrémně důležitá teplotní vyrovnanost celého měřidla.

**Návrh řešení:**

Nadále posuzovat a podrobovat důsledné kontrole způsob a průkaznost monitorování teploty v kalibračních laboratořích v oboru délka a rovinný úhel. V relevantních případech stále požadovat zapracování skutečných teplotních podmínek do analýzy nejistot měření resp. CMC. Analýzu teplotních vlivů na výslednou nejistotu zvláště vyžadovat u měřidel se sinovým či tangentovým principem měření, kdy mohou být ramena z různých materiálů s rozdílným koeficientem lineární teplotní roztažnosti. Doporučit vhodné doby temperace měřidel před měřením a tyto poskytnout posuzovatelům jako podpůrný nástroj pro jejich posuzování. V případě přesnějších kalibrací vyžadovat popis a vhodné umístění měřidel v laboratoři k zamezení ovlivnění teploty proudícím vzduchem z klimatizace.

### **2.2.3. Zkušební a kalibrační metody a validace metod**

Posuzování kalibračních metodik vychází z požadavku kritéria 5.4 normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2005, které uvádí i obecné požadavky na stanovení nejistoty měření a na validaci dokumentovaných kalibračních postupů. Požadavky na akreditované kalibrační laboratoře jsou dány také dokumentem EA04/02. V rámci posuzování je auditory sledováno také plnění zákonných či předpisových požadavků, laboratoře prokazují způsoby validace a demonstrují postupy výpočtu nejistot měření pro jednotlivé kalibrační postupy. Kalibrační laboratoře v drtivé většině pracují dle kalibračních postupů, které byly zpracovány interně a neobsahují žádné zásadně nové přístupy. Zdroji k vypracování interních postupů kalibrace jsou doporučení v technických normách, postupy zpracované ČKS resp. ČMS, návody k přístrojům apod. Postupy jsou v laboratořích přizpůsobovány na konkrétní vybavení a podmínky a v rámci posuzování je sledována úplnost a přesnost předkládaných postupů. I přes úsilí vynakládané na harmonizaci a sjednocení postupů posuzování jednotlivými posuzovateli je vysledovatelné ovlivnění hodnocení na základě rozdílných osobních zkušeností a názorů.

**Téma:**

- Neexistuje závazný předpis, který by určoval minimální rozsah kalibrace; mohou existovat kalibrační postupy neobsahující dostatečnou definici, které parametry nebo veličiny a v jakém rozmezí mají být kalibrační stanoveny.
- Při přechodu z nejlepších měřicích schopností na měřicí schopnost kalibrace došlo v souladu s pokyny odpovědných orgánů EA jen ke změně názvosloví a zkratk a hodnota BMC byla převedena na CMC bez povinnosti nových výpočtů či jejich doplnění. U méně přesných měřidel bývá proto často podhodnocen vliv kalibrovaného měřidla. V oblasti úhlu je z tabulky patrné, že zejména u úhloměřů jsou hodnoty CMC čistě teoretické a reálně nedosažitelné, jedná se o hodnoty BMC.

**Návrh řešení:**

Důsledně sledovat, aby kalibrační postupy obsahovaly dostatečnou definici měřených parametrů a jejich rozmezí (kalibrační body) a pro měřidla, pro které je to relevantní, poskytnout minimální požadovaný rozsah kalibrace. To je třeba zdůraznit zejména u kalibrační libel a sklonoměřů, kdy je v některých případech považována za kalibraci např. pouze kontrola ve vodorovné poloze. Dále ve zprávě je rozpracován seznam vlivů, které musí být analyzovány a zohledněny při výpočtu CMC.

**2.2.4. Uvádění výsledků**

Uvádění výsledků je posuzováno dle požadavku kritéria 5.10 normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2005, které uvádí obecné požadavky na formulování výstupních dokumentů a posuzovateli je požadováno dokumentování a plnění závazného dokumentu ILAC G8. Ne zcela jednotné je vyjádření o shodě se specifikací na jednotlivých výstupních dokumentech (kalibračních listech) kalibračních laboratoří. Je-li na kalibračních listech či protokolech (na názvu nezáleží) uváděno toto prohlášení, jeví se problematické v mezích případech, kdy nejistota měření posouvá hodnotu výsledku mimo stanovené mezní hodnoty, toto vyjádření jednoznačně konstatovat. Nejistota měření může být brána v úvahu nesprávně, u kalibračních laboratoří výjimečně není brána v úvahu vůbec. Pro uvádění shody/neshody se specifikací je stanovena povinnost a posuzovateli je požadováno splnění uvádět zdroj mezních hodnot a příp. uvedení příslušných číselných hodnot mezi na kalibračním listě. Velmi často není k vyjádření o shodě se specifikací jednoznačně vztažena informace o pravděpodobnosti pokrytí pro rozšířenou nejistotu měření uváděnou na kalibračních listech.

**Téma:**

- Při uvádění shody se specifikací na kalibračních listech není brána v úvahu nejistota měření, nebo je brána v úvahu nesprávně
- Na kalibračních listech se vyskytuje chybná interpretace. Prohlášení o shodě často neobsahuje zdroj mezních hodnot nebo je tento zdroj uveden neúplně.
- Není explicitně uvedeno, že vyjádření shody se specifikací je založeno na pravděpodobnosti pokrytí, která je dána rozšířenou nejistotou měření.

**Návrh řešení:**

Obsahuje-li kalibrační list prohlášení o shodě, přesně v rámci požadavků normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2005 sledovat splnění požadavků ILAC-G8; trvat na naplňování vlastní politiky kvality v oblasti přístupu k nejistotám měření a uvádění shody se specifikací. Důležitým nástrojem pro jednotný přístup k této problematice je existence pravidel, která dokumentují, jakým způsobem vyhodnocuje odpovědná osoba v laboratoři shodu/neshodu se specifikací a jak je tento výrok uváděn na kalibračních listech. Vyžadovat, aby prohlášení o

shodě obsahovalo v relevantních případech také uvedení číselných hodnot mezi specifikace, zdroj, odkud mezní hodnoty pochází a aby bylo jasně navázáno na výrok o původu nejistoty měření.

### **2.3. ROZDĚLENÍ KALIBRACÍ**

Velké množství jednotlivých měřidel délky a úhlu lze rozdělit na skupiny s podobným principem měření a kalibrace pro účely vystavení osobních certifikátů. Pro každou skupinu je potřebný určitý okruh základních znalostí. Kalibrace v každé skupině se liší podrobnostmi, které posoudí odborný posuzovatel při witness auditech. Typickým příkladem jsou skupiny posuvných měřidel a mikrometrických měřidel, které zahrnují značné množství jednotlivých typů, ale vždy se stejným principem kalibrace.

Navržené rozdělení:

- Kalibrace koncových měrek komparační metodou
- Kalibrace přímým měřením na délkoměru
- Kalibrace prováděné na 2D (3D) strojích
- Kalibrace závitových měřidel
- Kalibrace posuvných měřidel
- Kalibrace mikrometrických měřidel
- Kalibrace měřidel s číselníkovým indikátorem
- Kalibrace čárkových měřitek
- Kalibrace délkoměrů
- Kalibrace 2D (3D) strojů
- Kalibrace prováděné průmyslovým laserinterferometrem
- Kalibrace úhломěrů
- Kalibrace libel
- Kalibrace sklonoměrů

#### **2.3.1. Popisy kalibrace**

##### **Kalibrace koncových měrek komparační metodou**

Základní popis metody viz ČSN EN ISO 3650. Porovnávají se dvě koncové měrky stejné jmenovité hodnoty.

Do této skupiny patří:

Koncové měrky (0,3 ÷ 100) mm, koncové měrky (125 ÷ 1000) mm

##### **Kalibrace přímým měřením na délkoměru**

Délkoměrem se rozumí přístroj pro měření rozměru v jedné ose s přímou indikací měřené hodnoty. Příslušenství délkoměrů umožňuje měřit různé předměty. Návod k obsluze konkrétního délkoměru řeší podrobnosti a měl by být vždy k dispozici.

Do této skupiny patří:

Válečkové kalibry (hladké kalibry na díry), třmenové kalibry (hladké kalibry na hřídele), měřicí drátky, nastavovací kroužky pro vnitřní měření, lístkové spároměrky, speciální kalibry (hladké kalibry dle výkresu), nastavné tyčky k mikrometrům, kvalifikační koule k 3D strojům.

##### **Kalibrace prováděné na 2D (3D) strojích**



2D strojem se rozumí přístroj pro měření ve dvou osách - strojírenský mikroskop, kamera, profilprojektor.

3D strojem se rozumí třísouřadnicový měřicí stroj s dotykovým, nebo optickým snímáním.

Obsluha musí mít školení na obsluhu HW i SW. K dispozici jsou návody (manuály) ke konkrétním strojům.

Do této skupiny patří:

Šablony, závitové šablony, etalonová čárková měřítka, kalibry, kroužky, koule, kužely, prizmatické podložky, kalibry podle výkresu.

### **Kalibrace závitových měřidel**

Hlavním parametrem je střední průměr závitu. Pro jeho určení se používá pomocných těles - drátků nebo kuliček. Stanovení nejistoty středního průměru je věnován zvláštní dokument EA 10/10 EA Guidelines of the Determination of Pitch Diameter of Parallel Thread Gauges by Mechanical Probing (viz přehled literatury). Tento dokument zatím nebyl přeložen do češtiny.

Do této skupiny patří:

Mezní závitový kalibr – závitový trn, mezní závitový kalibr – závitový kroužek

### **Kalibrace posuvných měřidel**

Základní metodou je kalibrace pomocí koncových měrek.

Do této skupiny patří:

Posuvky, posuvné hloubkoměry, posuvné výškoměry, posuvná měřidla na svary.

(S noniem, displejem, kruhovým číselníkem, smršťovací, poměrové, s horním aretačním šroubkem,

se spodním aretačním šroubkem, s rychlosvorkou, se stavítkem, jednostranné, pro vnější a vnitřní měření, pro vnější a vnitřní měření a s hloubkoměrem, oboustranné; pro vnější a vnitřní měření a s pomocnými rameny na vnější měření, s výměnnými rameny (pro ploché povrchy, pro vnitřní měření, pro orýsování, s výkyvnými rameny, pro měření vzdáleností otvorů, pro měření drážek a osazení, pro měření tloušťky stěn uvnitř otvorů a prohlubní a těžko přístupných míst, pro měření tloušťek stěn trubek, pro měření rádiusů, lesnická průměrka....)

### **Kalibrace mikrometrických měřidel**

Tato měřidla mají společný konstrukční prvek - mikrometrický šroub. Základní metodou je kalibrace pomocí koncových měrek (a nastavných kroužků v případě třídotekových mikrometrických dutinoměřů).

Do této skupiny patří:

Třmenový mikrometr, mikrometrické odpichy, pasometr (mikropasometr), mikrometrická hlavice, třídotekové dutinoměry, mikrometry na závity mikrometry na ozubená kola ....

### **Kalibrace měřidel s číselníkovým indikátorem**

Kalibrace se provádí na přednostně na svislém délkoměru - zařízení pro kalibraci číselníkových úchylkoměrů. Lze použít i vodorovný délkoměr. Kalibrace číselníkových úchylkoměrů pomocí koncových měrek je nevhodná (problém se zjištěním reverzibility). Nutná je znalost metrologických charakteristik číselníkových úchylkoměrů (ČSN EN ISO 463 Geometrické specifikace výrobků (GPS) - Délková měřidla - Konstrukční a metrologické charakteristiky mechanických číselníkových úchylkoměrů).

Do této skupiny patří:

Číselníkový úchylkoměr, elektronický úchylkoměr, dutinoměry s číselníkovým úchylkoměrem (subita).

### **Kalibrace čárkových měřitek**

Do této skupiny patří:

Čárková měřítka tříd přesnosti I, II, III dle OIML R 35-1 Edition 2007 (E). Měřítka plochá, tenká a ohebná a stáčecí, pásma, svinovací metry, skládací metry.

### **Kalibrace délkoměrů**

Metoda pomocí etalonových těles (koncových měrek). Často prováděná na místě u zákazníka. Důraz na analýzu nejistot, konkrétních podmínek při měření mimo stálé prostory laboratoře.

Do této skupiny patří:

Jednoosé délkoměry vodorovné a svislé.

### **Kalibrace 2D (3D) strojů**

Metoda pomocí etalonových těles (koncových měrek, skleněných měřitek stupňových měrek a dalších). Často prováděná na místě u zákazníka. Důraz na analýzu nejistot, konkrétních podmínek při měření mimo stálé prostory laboratoře. Měření se často přímo zúčastní místní operátor stroje.

Do této skupiny patří:

2D stroje - mikroskopy, profilprojektory, kamerové 2D stroje

3D stroje - souřadnicové měřicí stroje

### **Kalibrace prováděné průmyslovým laserinterferometrem**

Průmyslové interferometry umožňují kalibrace na místě u zákazníka. Jedná se hlavně o kalibrace lineárních odměřovacích systémů délkoměrů, 2D a 3D strojů a kalibrace příměrných desek. Důraz na analýzu nejistot (teplota, tlak, vlhkost vzduchu, teplota materiálu, rozptyl hodnot, rozlišovací schopnost). Interferometr v laboratoři ve spojení s 1D délkoměrem může rozšířit možnosti měření na délkoměru a zlepšit nejistotu měření. Vyžadovat systémovou kalibraci interferometru (provádí např. LPM Praha). Kalibrace pouze vlnové délky je nedostatečná.

### **Kalibrace libel**

S výjimkou stavebních libel, není cílem kalibrace libel určení chyby indikace ve vodorovné či svislé poloze. Kapalínové libely mají tu vlastnost, že se často, vlivem různých vlivů, rozštelují a seřízení středové polohy vůči horizontální není příliš stabilní. Libely je tedy nutné používat jako relativní měřidlo nebo tak, že se na měřenou plochu, ve stejném místě, libela položí dvakrát, v polohách vzájemně otočených o 180° kolem svislé osy a z obou odečtených hodnot se vypočítá skutečná hodnota měřeného sklonu. Není proto tak podstatné znát polohu středu vzhledem k rovině, ale citlivost dílků strojní libely nebo chyby stupnice ostatních libel vůči dané (krajní nebo nulové) hodnotě stupnice libely. Z kalibračního listu musí být jednoznačně určeny polohy, strany a znaménka použité při kalibraci libely, tedy levá a pravá strana libely, dále např. „...libela ukazuje kladné hodnoty, když se levá strana libely naklání od vodorovné roviny směrem dolů..“ nebo podobným způsobem.

### **Kalibrace úhloměřů**

Kalibrace je prováděna nejčastěji vkládáním etalonových úhlových měrek mezi pravítka (čelisti) úhloměru a je porovnávána hodnota etalonu s hodnotou indikovanou na stupnici úhloměru. Je možné použití jiné vhodné metody, je ale nutné zohlednit její vliv při výpočtu nejistoty měření. Kalibrační body musí být voleny tak, aby byl pokryt celý rozsah měření.

### **Kalibrace sklonoměřů**

U sklonoměřů není hlavním cílem kalibrace určení chyby indikace ve vodorovné či svislé poloze. U digitálních sklonoměřů lze nulovou nebo vodorovnou polohu nastavit. Není tedy podstatné znát polohu středu vzhledem k rovině, ale chyby stupnice sklonoměru vůči dané (krajní nebo nulové) hodnotě stupnice sklonoměru. Z kalibračního listu musí být jednoznačně určené polohy, strany a znaménka použité při kalibraci sklonoměru, tedy levá a pravá strana, pokud je to relevantní a dále např. „...sklonoměr ukazuje kladné hodnoty, když se levá strana sklonoměru naklání od vodorovné roviny směrem dolů..“ nebo podobným způsobem.

## **2.3.2. Popisy měřidel**

Skupina: KONCOVÉ MĚRKY

Základní rozdělení:           A) ocelové,  
  B) keramické,  
  C) tvrdokovové

### **Koncová měrka (dále jen měrka)**

ztělesněná míra pravoúhlého průřezu, vyrobená z materiálu odolného proti opotřebení, s jedním párem rovinných, navzájem rovnoběžných měřících ploch, které mají schopnost přilnout k měřícím plochám jiných měrek nebo pomocným rovinným destičkám.

### **Délka měrky (l)**

kolmá vzdálenost určitého bodu měřící plochy měrky a plochy pomocné rovinné destičky ze stejného materiálu a se stejnými povrchovými vlastnostmi, na kterou je druhá měřící plocha měrky přilnuta nasunutím.

### **Středová délka měrky (lc)**

délka měrky ze středu volně přístupné měřící plochy.

### **Rozpětí délky (v)**

rozdíl mezi největší a nejmenší délkou měrky (souhrnná úchylka rovnoběžnosti a rovinnosti).

## **Třída přesnosti (resp. Třída)**

charakteristika měřidla, která zahrnuje dílčí vlivy vznikající nedokonalostí měřidla, např. přesností výroby. Číslo třídy přesnosti charakterizuje skupinu měřidel, která splňují určité metrologické požadavky stanovené k udržení chyb v rozsahu specifikovaných mezních hodnot.

## **Sekundární řád**

Udává posloupnost ve schématu návaznosti.

Nejistota měření při kalibraci:

1. řád:  $U = (0,02 + 0,2L) \mu\text{m}$ , kde  $L$  je délka v metrech (interferenčně)
2. řád:  $U = (0,05 + 0,5L) \mu\text{m}$ , kde  $L$  je délka v metrech (komparačně)
3. řád:  $U = (0,1 + 1L) \mu\text{m}$ , kde  $L$  je délka v metrech (komparačně)
4. řád:  $U = (0,2 + 2L) \mu\text{m}$ , kde  $L$  je délka v metrech (komparačně)
5. řád:  $U = (0,5 + 5L) \mu\text{m}$ , kde  $L$  je délka v metrech (komparačně)

Požadavky na kvalitu povrchu funkčních ploch měrek pro jejich zařazení do jednotlivých sekundárních řádů:

*Pozn. 1: S ohledem na praktické použití měrek by měla být provedena kontrola přilnavosti jejich funkčních ploch pomocí optického rovinného skla. A to zejména u těch měrek, na jejichž funkčních plochách jsou matná místa vzniklá opotřebením. Tuto kontrolu nelze nahradit měřením rovinnosti pomocí komparátoru.*

Funkční plochy měrek 1. až 3. sekundárního řádu by měly být perfektně lapované, bez zjevných škrábanců a rýh.

Ve 3. sekundárním řádu jsou dovoleny pouze náhodné škrábance. Na funkčních plochách měrek 4. sekundárního řádu jsou dovoleny náhodné rýhy a škrábance, které mohou tvořit občasné souvislé matné plochy.

Na funkčních plochách měrek 5. sekundárního řádu jsou dovoleny matné plochy vzniklé poškrábáním při používání.

*Pozn. 2: Při hodnocení kvality povrchu měrek pro zařazení sady do sekundárního řádu se hodnotí sada jako celek (jednotlivé měrky, které nesplňují výše uvedené požadavky na kvalitu povrchu funkčních ploch se vyřadí).*

## Skupina: POSUVNÁ MĚŘIDLA

- Druhy:
- I. Posuvky
  - II. Posuvné hloubkoměry
  - III. Posuvné výškoměry

- Základní rozdělení:
- A) analogové,
  - B) digitální.

Další rozdělení dle technických charakteristik:

### **I. Posuvky**

#### ***Dle ukazatele:***

1. s čárkovou stupnicí (nonius: 0,1 mm, 0,05 mm, 0,02 mm)
2. s displejem (číslicový krok: 0,01 mm)
3. s kruhovým číselníkem (dílek stupnice: 0,01 mm, 0,02 mm, 0,05 mm)
4. se smršťovacím dělením (1 %, 1,5 %, 2 %)
5. poměrová (1:3)

#### ***Dle ustavovacího zařízení:***

- a) s horním aretačním šroubkem,
- b) se spodním aretačním šroubkem,
- c) s rychlosvorkou,
- d) se stavítkem,

#### ***Dle tvaru:***

6. jednostranné:
  - e) pro vnější a vnitřní měření,
  - f) pro vnější a vnitřní měření a s hloubkoměrem.
7. oboustranné:
  - g) pro vnější a vnitřní měření a s pomocnými rameny na vnější měření,
  - h) pro vnější a vnitřní měření, s pomocnými rameny na vnější měření a s hloubkoměrem.

8. zvláštní:

- i) s výměnnými rameny (pro ploché povrchy, pro vnitřní měření, pro orýsování),
- j) s výkyvnými rameny,
- k) pro měření vzdáleností otvorů,
- l) pro měření drážek a osazení,
- m) pro měření tloušťky stěn uvnitř otvorů a prohlubní a těžko přístupných míst,
- n) pro měření tlouštěk stěn trubek,
- o) pro měření rádiů,
- p) lesnická (průměrka).

***Dle použití:***

- 9. pro měření vnějších rozměrů,
- 10. pro měření vnitřních rozměrů,
- 11. pro měření hloubky,
- 12. pro měření osazení.

***Dle měřicí síly:***

- 13. klasická,
- 14. s indikátorem malé měřicí síly (pro měření plastu a gumy),
- 15. s přítlačným pružinovým mechanismem.

***Dle materiálu:***

- 16. s vodicími částmi z oceli, případně z kalené nerez oceli;  
s měřicími plochami lapovanými, případně osazenými tvrdokovem,
- 17. plastové (pro měření dřeva, potravin, v lékařské chirurgii, entomologii, apod.).

***Rozdělení digitálních měřidel:***

- s výstupem dat,
- se stupněm ochrany (IP).

Zvláštní příslušenství:

- hloubkoměrný můstek pro posuvky, které mají hloubkoměr,
- nastavovací měřka.

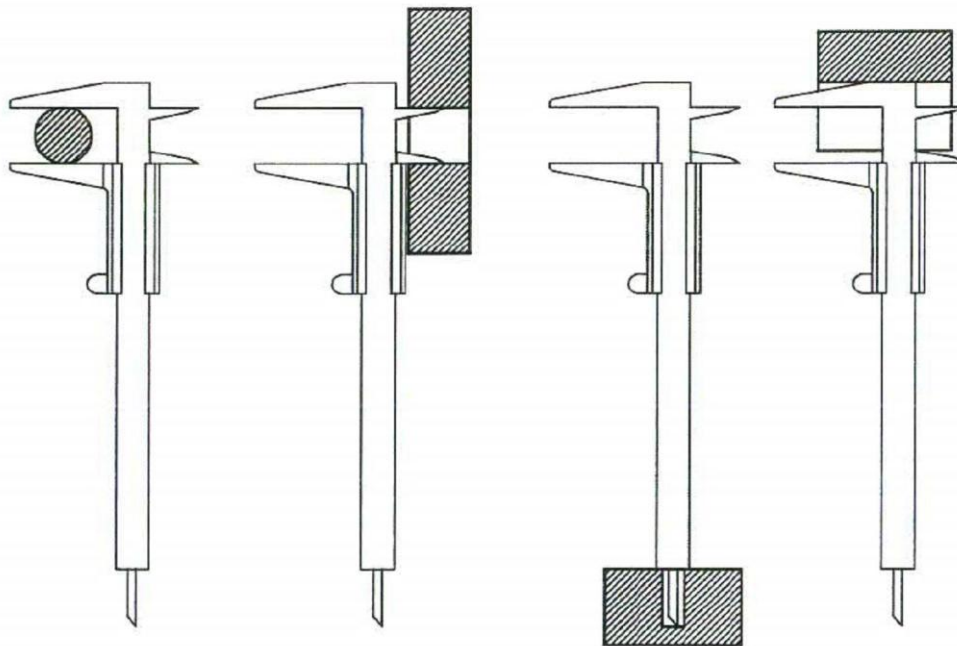
**Použití posuvek pro:**

měření  
vnějších rozměrů

měření  
vnitřních rozměrů

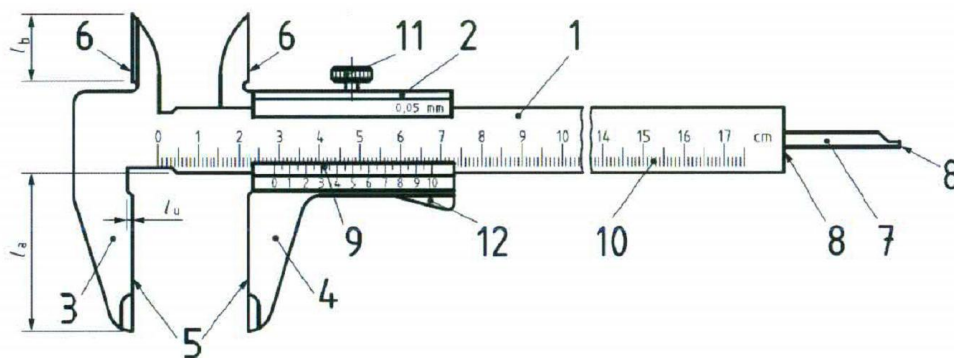
měření  
hloubky

měření  
osazení



**Názvosloví:**

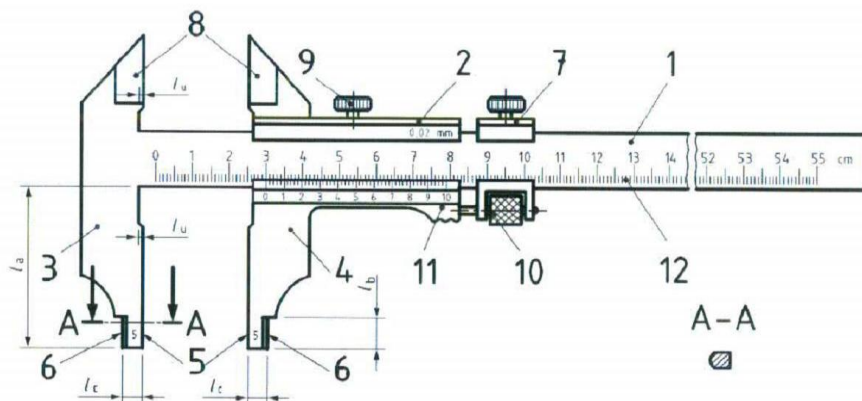
**Posuvka analogová s hloubkoměrem:**



*Legenda: těleso s hlavní stupnicí  
2 posuvná část s pomocnou stupnicí  
3 pevné rameno pro vnější měření  
4 posuvné rameno pro vnější měření  
5 rovinné měřicí plochy pro vnější měření  
6 rovinné měřicí plochy pro vnitřní měření*

*7 hloubkoměr  
8 měřicí plochy pro měření hloubky  
9 pomocná stupnice - nonius  
10 hlavní stupnice  
11 aretační šroubek  
12 ustavující ústrojí*

### Posuvka se stavítkem a pomocnými rameny pro vnější měření:

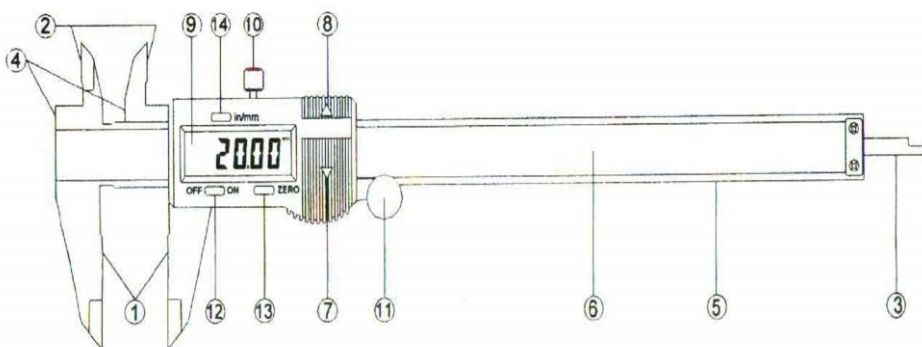


#### Legenda:

- |  |                                    |
|--|------------------------------------|
| 1 těleso s hlavní stupnicí                 | 7 stavítko                         |
| 2 posuvná část s pomocnou stupnicí         | 8 pomocná ramena pro vnější měření |
| 3 pevné rameno pro vnější měření           | 9 aretační šroubek                 |
| 4 posuvné rameno pro vnější měření         | 10 matice jemného nastavování      |
| 5 rovinné měřicí plochy pro vnější měření  | 11 pomocná stupnice - nonius       |
| 6 rovinné měřicí plochy pro vnitřní měření | 12 hlavní stupnice                 |

Pozn.: 3,4 hlavní ramena pro vnější měření

### Posuvka digitální s hloubkoměrem:



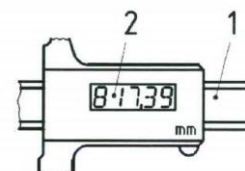
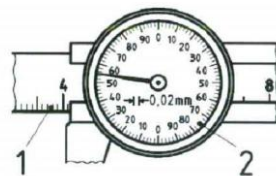
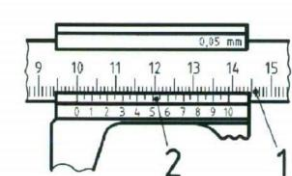
#### Legenda:

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| 1 rovinné měřicí plochy pro vnější měření  | 8 kryt datového výstupu          |
| 2 rovinné měřicí plochy pro vnitřní měření | 9 zobrazovací jednotka (displej) |
| 3 hloubkoměr                               | 10 aretační šroubek              |
| 4 měřicí plochy pro měření osazení         | 11 kolečko jemného posuvu        |
| 5 těleso posuvky                           | 12 tlačítko zapnutí/vypnutí      |
| 6 měřicí pásek                             | 13 tlačítko nulování             |
| 7 kryt baterie                             | 14 tlačítko přepínání mm/palce   |



*Pozn.: 4 měřicí plochy pro měření osazení (pouze u některých typů analogových i digitálních posuvek)*

**Rozlišitelnost měřidla vyjadřuje:**



Čárková stupnice – nonius

Kruhový číselník

Displej

(nejmenší dílek pomocné stupnice)

(nejmenší dílek stupnice)

(nejmenší číslicový krok)

*Legenda:*

*1 hlavní stupnice; u digitálních měřidel měřicí pásek*

*2 pomocná stupnice (rozlišitelnost měřidla); u digitálních měřidel zobrazovací jednotka (displej)*

Další používaná označení:

Šuplera z německého Schub-lehre, posuvnice, (díleňské/komunální) posuvné měřítko/měřidlo, číslicová posuvka;

Další názvosloví:

rozlišitelnost, rozlišení, dělení, difference, mechanické, elektronické.

## II. Posuvné hloubkoměry

*Dle ukazatele:*

1. s čárkovou stupnicí (nonius: 0,1 mm, 0,05 mm, 0,02 mm)

2. s displejem (číslíkový krok: 0,01 mm)

3. s kruhovým číselníkem (dílek stupnice: 0,01 mm, 0,02 mm, 0,05 mm)

***Dle ustavovacího zařízení:***

- a) s aretačním šroubkem
- b) s rychlosvorkou
- c) se stavítkem

***Dle tvaru:***

- 4. se zkosením
- 5. s nosem
- 6. s jehlou
- 7. se zkosením a nosem
- 8. s jehlou - na měření hloubky dezénu pneumatik

***Dle použití:***

- 9. pro měření vnějších rozměrů,
- 10. pro měření vnitřních rozměrů.

***Dle materiálu:***

- 11. s vodicími částmi z oceli, případně z kalené nerez oceli; s lapovanými měřicími plochami

***Rozdělení digitálních měřidel:***

- s výstupem dat,
- se stupněm ochrany (IP).

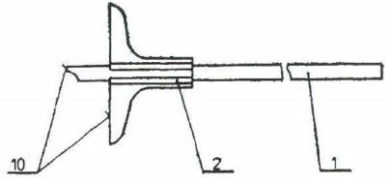
**Zvláštní příslušenství:**

- prodlužovací můstek

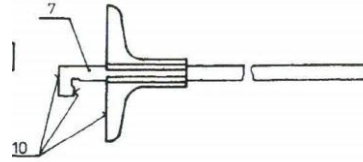
**Názvosloví:** viz posuvky

## Použití hloubkoměrů pro:

měření hloubky:



měření hloubky i vnějších rozměrů:



*Legenda:*

*1,7 těleso s hlavní stupnicí*

*2 pomocná stupnice*

*10 rovinné měřicí plochy (tvar zakončení rovinné měřicí plochy: viz text výše)*

## III. Posuvné výškoměry

*Pozn.: S výjimkou elektronických.*

***Dle ukazatele:***

1. s čárkovou stupnicí (nonius: 0,1 mm, 0,05 mm, 0,02 mm)
2. s displejem (číslicový krok: 0,01 mm)
3. s kruhovým číselníkem (dílek stupnice: 0,01 mm, 0,02 mm, 0,05 mm)

***Dle ustavovacího zařízení:***

- a) s aretačním šroubkem
- b) se stavítkem

***Dle tvaru:***

4. s rýsovací jehlou
5. s měřicí základnou a rýsovací jehlou

***Dle materiálu:***

10. s vodicími částmi z oceli, případně z kalené nerez oceli;  
s rýsovací jehlou z tvrdokovu.

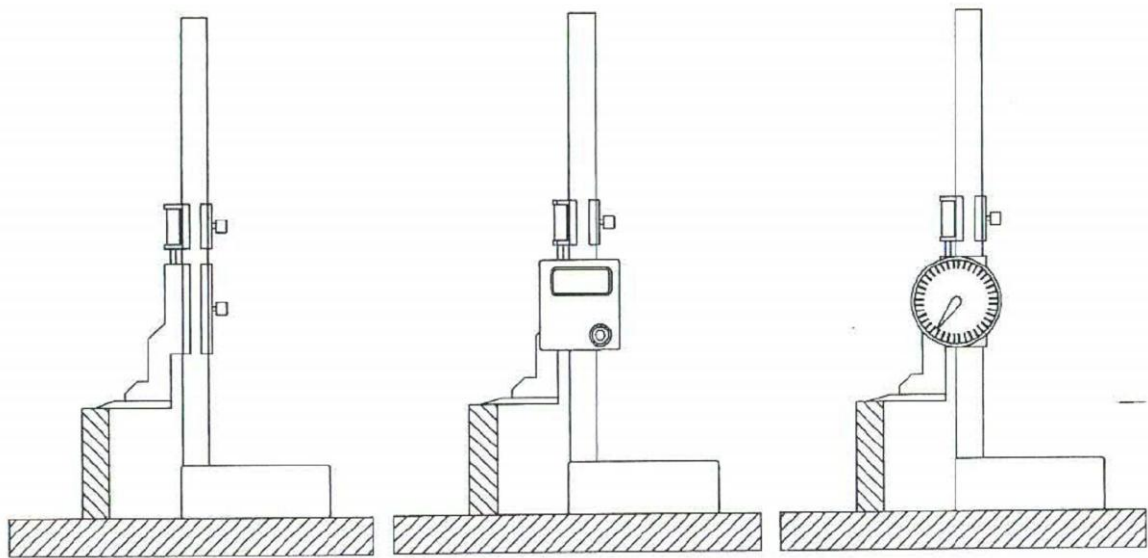
***Dle použití:***

- 10. pro měření vnějších rozměrů,
- 11. pro orýsování.

***Rozdělení digitálních měřidel:***

- s výstupem dat,
- se stupněm ochrany (IP).

Typy posuvných výškoměrů:



**Skupina: ČÁRKOVÁ MĚŘIDLA**

- Druhy:
- I. Měřicí pásma
  - II. Pásky pro měření obvodu a průměru
  - III. Měřicí pásky volné
  - IV. Svinovací metry (do jmenovité délky 10 m)
  - V. Skládací metry a dvoumetry
  - VI. Přímá ocelová délková měřidla

Další rozdělení dle technických charakteristik:

## **I. Měřicí pásma**

### ***Dle materiálu měřicího pásku:***

1. ocel - lakovaná
2. ocel - lakovaná, povlakovaná polyamidem
3. nerez ocel
4. nerez ocel - s ochranným lakem
5. invarová ocel
6. sklolaminát
7. sklolaminát – textilní

### ***Dle rozlišení stupnice:***

- a) s milimetrovým dělením
- b) s centimetrovým dělením
- c) s metrovým dělením
- d) kombinované

### ***Dle postupu nanášení stupnice:***

- e) tištěná
- f) leptaná
- g) rytá

### ***Dle typu měřicího pásku:***

- h) jednostranná
- i) oboustranná

### ***Dle umístění počátku stupnice:***

- j) nula odsazena (viz obr. 1)
- k) nula v čepu očka (viz obr. 2)
- l) nula na vnitřním okraji očka (viz obr. 3)
- m) nula v čepu očka osazeného trnem (viz obr. 4)
- n) nula na vnitřním okraji očka osazeného trnem (viz obr. 5)

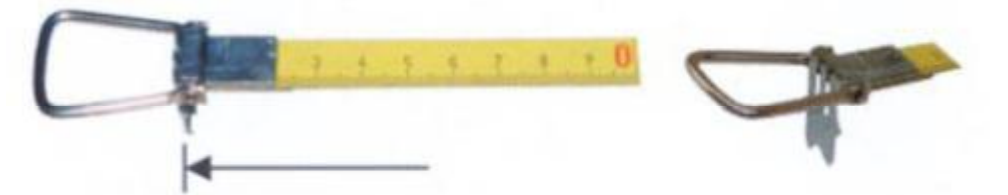
Obr. 1: Nula je umístěna cca 10 cm od očka



Obr. 2: Nula je umístěna v čepu očka (nevhodné pro přesné měření)



Obr. 3: Nula je umístěna na vnitřním okraji očka (nevhodné pro přesné měření)



Obr. 4: Nula je umístěna v čepu očka osazeného trnem pro zapíchnutí (nevhodné pro přesné měření)



Obr. 5: Nula je umístěna na vnitřním okraji očka osazeného trnem pro zapíchnutí (nevhodné pro přesné měření)



***Dle obalu:***

o) v pouzdře



p) v rámu



***Dle použití:***

- pro měření ve strojírenství (viz obr. 1)
- pro měření ve stavebnictví (viz obr. 1, 2, 3, 4, 5)
- pro měření v lesnictví/dřevařském průmyslu (viz obr. 3, 4, 5)

***Měřicí pásma speciální:***

- pro měření hloubky studní (s píšťalou)
- pro měření výšky hladiny (s olovnicí; pro ropný průmysl)

**II. Pásky pro měření obvodu a průměru**

***Dle materiálu měřicího pásku:***



1. ocel
2. sklolaminát

***Dle provedení stupnice:***

3. pro měření vnějších průměrů
4. pro měření vnitřních průměrů
5. přední strana pro měření délky, zadní strana pro měření průměrů

***Dle přesnosti odečítání měřených hodnot:***



- a) s noniem
- b) bez nonia

***Dle typu počátků:***



- c) očko
- d) očko osazené trnem
- e) zapichovací hák

**III. Měřicí pásky volné**

***Dle materiálu měřicího pásku:***

1. ocel - lakovaná
2. ocel - lakovaná, povlakovaná polyamidem

***Dle provedení číslování stupnice:***

3. zleva doprava
4. zprava doleva
5. shora dolů
6. zdola nahoru
7. průběžné
8. s nulou uprostřed



***Dle provedení měřicího pásku:***

9. bez samolepící fólie na zadní straně
10. se samolepící fólií na zadní straně

***Dle použití:***

- na rámech a stojanech obráběcích strojů, pil, měřicích přípravků
- na měřicích a pracovních stolech

**IV. Svinovací metry**



***Dle materiálu měřicího pásku:***

1. ocel - lakovaná
2. ocel - lakovaná, povlakovaná polyamidem

***Dle typu počátků:***

3. dorazová páčka pevná (možnost měření rozměrů od vnitřní strany dorazové páčky)
4. dorazová páčka volná (možnost měření rozměrů od vnitřní i vnější strany dorazové páčky)

***Dle způsobu odečtu měřené hodnoty:***

5. analogový odečet (stupnice)
6. kombinovaný (analogový i digitální odečet - stupnice a displej)
7. oboustranný (pro přímé měření vnějších i vnitřních rozměrů - stupnice a okénko)

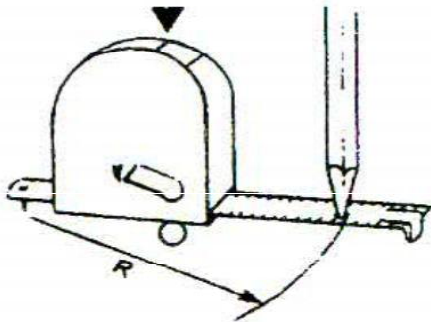
***Dle provedení:***

- a) s aretací
- b) s brzdou
- c) s otvorem pro orýsování

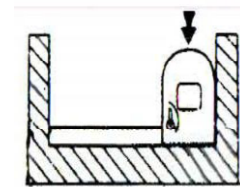
- d) s otvorem a hrotem pro orýsování
- e) dorazová páčka s magnety
- f) dorazová páčka s protiskluzovou úpravou (páskem se safirovými krystaly)
- g) kombinovaný

***Dle použití:***

- h) pro měření vnějších rozměrů
- i) pro měření vnějších a vnitřních rozměrů
- j) pro orýsování
- k) pro měření průměrů (přední strana pásku pro měření délek, zadní strana pro měření průměrů)



Orýsování



Měření vnitřních rozměrů

**V. Skládací metry a dvoumetry**

***Dle materiálu:***

1. dřevěné
2. umělohmotné

**VI. Přímá ocelová délková měřidla**

***Dle tloušťky základního materiálu (t):***

1. plochá
2. tenká ( $t = 1 \text{ mm}$  nebo  $t = 2 \text{ mm}$ )
3. ohebná ( $t = 0,22 \text{ mm}$  nebo  $t = 0,40 \text{ mm}$ ),
4. ohebná modelářská se stupnicí pro smrštění ( $t = 0,22 \text{ mm}$  nebo  $t = 0,40 \text{ mm}$ )

***Dle materiálu:***

- a) ocelová
- b) hliníková

***Dle umístění stupnice:***

- c) jednostranná
- d) oboustranná
- e) shora dolů
- f) zdola nahoru
- g) s nulou uprostřed

***Dle tvaru průřezu:***

- 5. obdélníkový
- 6. se zkosením

***Dle umístění počátku stupnice:***

- h) s přesahem (nula odsazena od hrany)

Skupina: MĚŘIDLA ROVINNÉHO ÚHLU

Rozdělení na Úhlooměry  
Libely  
Sklonoměry

## **I. Úhlooměry**

Základní vlastností úhloměřů je schopnost měřit úhel, který mezi sebou svírají vzájemně nastavitelná ramena úhloměru, obvykle realizovaná jedním pevným a druhým pohyblivým pravítkem.

Nejrozšířenější **mechanický (univerzální) úhloměř** (obrázek 1) má ocelový limbus s hodnotou dílku  $1^\circ$  nebo  $30'$  a možností odčítání na  $5'$  pomocí verniéru, bez možnosti přesnějšího odhadu. Dělení stupnice je obvykle  $4 \times 90^\circ$ .

**Digitální úhloměr** (obrázek 2) bývá konstruován podobně jako úhloměr mechanický. Namísto verniéru je měřená hodnota odčítána na digitální stupnici. Přesnost odečtu je obvykle  $0,01^\circ$ ,  $1'$  nebo  $30''$ . Dělení  $30''$  je ale nepřesné a objektivně lze odčítat nejpřesněji s rozlišením  $0,01^\circ$ .



Obrázek 2 – Digitální úhloměr

**Optický úhloměr** (obrázek 3) má limbus ze skla, který je umístěn v tělese úhloměru. Měřený úhel je odčítán při průhledu skrz optiku úhloměru s přesností  $10'$  nebo  $5'$ .



Obrázek 3 – Optický úhloměr

Dále jsou vyráběny různé typy méně přesných úhloměrů, např. **zámečnický úhloměr** (obrázek 4) s rozsahem  $180^\circ$  a rozlišením  $1^\circ$  s možností odhadu cca  $0,2^\circ$  ( $0,1^\circ$  v ideálním případě) nebo **vestavné digitální úhlooměry** umístěné do těla libely nebo sklonoměru (obrázek 5), kde je obvykle použito dělení stupnice  $0,1^\circ$ .



Obrázek 4 – Zámečnický úhломěr



Obrázek 5 – Úhломěr vestavný digitální ve sklonoměru

## II. Libely

Libely, nesprávně označovány jako vodováhy, pracují na principu působení zemské gravitace. Používají se na měření malých sklonů vzhledem k horizontální poloze, změně sklonů nebo ustavení do vodorovné roviny. Dle principu měření se dělí na dvě základní skupiny – *libely kapalinové* a *libely elektronické* (některé druhy elektronických libel jsou na obrázku 6).

***Kapalinová libela***, v základní formě, se skládá z libelové trubice umístěné v těle libely buď napevno, nebo justovatelně. U většiny libel, zejména kapalinových, není hodnota sklonu měřena v běžných jednotkách úhlu (stupně, minuty, vteřiny), ale jako poměr sklonu ku vzdálenosti jednoho metru, tedy *mm/m*.



Obrázek 6 – Elektronické libely

**Kapalinové libely** dále dělíme na **strojní libely podélné (příložné)** (obrázek 7), **stojní libely rámové** (obrázek 8), **strojní libely úhlové** (obrázek 9) a **libely křížové** – ty pracují na stejném principu, ale liší se provedením těla libely. Srojní libely mají vestavnou libelovou trubici, v níž se pohybuje bublinka jako indikátor sklonu. Na těle libelové trubice jsou na levé i pravé straně vyryty a barevně zvýrazněny čárky vzdálené vzájemně asi 2 mm. Charakteristickým parametrem těchto libel je *citlivost dílku*, tedy velikost hodnoty úhlu, o kterou se musí libela naklonit, aby se okraj bublinky posunul o jeden dílek (z jedné rysky na rysku vedlejší). Nejčastěji jsou používány strojní libely se jmenovitou hodnotou citlivosti 0,02 mm/m.



Obrázek 7 – Libela strojní podélná



Obrázek 8 – Libela strojní rámová



Obrázek 9 – Libela strojní úhlová

Dalším rozšířeným typem kapalinové libely je **libela stavební** (obrázek 10) a libely s velkým rozsahem měření **libela koincidenční** (obrázek 11) a **libela mikrometrická**.



Obrázek 10 – Libela stavební



Obrázek 11 – Libela koincidenční

### III. Sklonoměry

Používají se na měření sklonů vzhledem k horizontální poloze nebo změn sklonů. Stejně jako libely pracují na principu působení zemské gravitace. Oproti libelám mají mnohem větší rozsah (mnohdy celých 360°) a nižší přesnost měření. Sklonoměrů existuje velké množství, ale téměř všechny lze zařadit do skupin: **sklonoměr optický** (obrázek 12), **sklonoměr mechanický** (obrázek 13) a **sklonoměr digitální** (obrázek 14).



Obrázek 12 – Optický sklonoměr





Obrázek 13 – Mechanické sklonoměry



Obrázek 14 – Digitální sklonoměry

## 2.4. NEJISTOTY MĚŘENÍ

### Analýza teplotních vlivů

Při měření délky (kalibraci délkových měřidel) existuje skupina úloh, která tvoří značnou část v praxi se vyskytujících úloh. Pro tuto skupinu úloh bude společný i obecný rozpočet nejistot, do něhož se dosadí číselné hodnoty pro konkrétní případ. Jde o měření délky předmětu vztažené na laboratorní teplotu 20 °C pomocí hmotného etalonu bez použití teplotních korekcí.

Měření délky vztažené na laboratorní teplotu 20 °C.

Tato podmínka se většinou bere automaticky. Znamená, že výsledkem měření je délka (nebo indikace měřicího přístroje), jakou by měřený předmět měl při 20 °C, i když skutečná teplota při měření je jiná. Příklady měřeného předmětu: koncová měrka, tyč s koulemi, posuvné měřítko, mikrometrické měřidlo, nastavný kroužek, rysková měrka, délkoměrný přístroj atd. pomocí hmotného etalonu.

Hmotným etalonem může být například : koncová měrka, tyč s koulemi, posuvné měřítko, mikrometrické měřidlo, nastavný kroužek, rysková měrka, délkoměrný přístroj atd., se zajištěnou metrologickou návazností, se známou konvenčně pravou hodnotou a její nejistotou. K hmotnému etalonu je k dispozici kalibrační list, kde jsou uvedeny všechny potřebné údaje. Nejistota konvenčně pravé hodnoty musí být přiměřená dané měřicí úloze bez použití teplotních korekcí

Jde o případ, kdy se sice sledují teplotní podmínky měření, ale nepoužívají se ke korekci naměřené hodnoty. Znalost teplotních podmínek slouží k stanovení nejistoty měření. Přehled není platný pro měření pomocí laserinterferometrů.

Výpočetní vztahy jsou stejné jako v příkladu stanovení nejistoty při kalibraci koncových měrek S4 v dokumentu EA4/02.

<i>veličina</i>	<i>výpočetní vztah</i>
Standardní nejistota rozdílu teplot	$u_{\Delta t} = \frac{\Delta t}{\sqrt{3}} =$
Standardní nejistota rozdílu koeficientů teplotní roztažnosti	$u_{\Delta \alpha} = \frac{\Delta \alpha}{\sqrt{3}} =$
Standardní nejistota průměrné odchylky teploty od 20 °C	$u_{\Delta t_{20}} = \frac{\Delta t_{20}}{\sqrt{3}} =$

Člen 1. řádu	$L \cdot \alpha \cdot u_{\Delta t} =$
Člen 2. řádu	$L \cdot u_{\Delta t 20} \cdot u_{\Delta \alpha} =$
Standardní nejistota délky vlivem teplotní roztažnosti	$u_{L_t} = \sqrt{(L \cdot \alpha \cdot u_{\Delta t})^2 + (L \cdot u_{\Delta t 20} \cdot u_{\Delta \alpha})^2} =$

$a = (a_1 + a_2)/2$  ...průměrná hodnota koeficientu teplotní roztažnosti

$\Delta t = (t_1 - t_2)$  ...rozdíl teplot etalonu a kalibrovaného měřidla

$\Delta a = (a_1 - a_2)$  ...rozdíl koeficientů teplotní roztažnosti etalonu a kalibrovaného měřidla

$\Delta t_{20} = 20 - (t_1 + t_2)/2$  ...odchylka průměrné teploty etalonu a kalibrovaného měřidla od 20 °C

### Stanovení nejistoty měření při kalibraci závitových trnů a kroužků na délkoměru v souladu s dokumenty EA04 a EA-10

Podrobný postup stanovování nejistot při kalibraci závitových trnů a kroužků tzv. parametrickou metodou, tedy měřením parametrů závitu na přístrojích je popsán v dokumentu EA-10/10. Tento dokument je volně dostupný na internetu v anglické verzi. Dokument definuje základní pojmy, různé kategorie kalibrací v závislosti na tom, které parametry závitu jsou při kalibraci zjišťovány, metody měření, výpočet středního průměru z naměřených hodnot a podrobnou analýzu příspěvků k výsledné nejistotě.

Dokument EA-10 rozlišuje tři definice středního průměru:

**Pitch Diameter** – Střední průměr: Průměr teoretického válce, který protíná profil závitu tak, že šířky hřbetu i mezery jsou stejné.

**Simple Pitch Diameter** – Prostý střední průměr: Průměr teoretického válce, který protíná profil závitu tak, že šířka mezery se rovná polovině jmenovité rozteče.

**Virtual Pitch Diameter (Functional Diameter)** – Virtuální střední průměr (Funkční průměr): Střední průměr teoreticky dokonalého závitu, který by bylo možno smontovat se skutečným závitem na dané délce. Zahrnuje v sobě všechny nedokonalosti skutečného závitu, tj. odchylky stoupání, úhlu boků, kuželovitost, přímost.

Pro teoreticky dokonalý závit jsou všechny tři střední průměry stejné.

Dokument EA-10 dále podrobně popisuje různé varianty měření, z nichž v běžné praxi kalibračních laboratoří se asi nejčastěji vyskytují první dvě:

- 1.) Měření míry přes drátky/speciální doteky a následný výpočet prostého středního průměru.
- 2.) Měření míry přes drátky/speciální doteky a měření úhlu boku závitu (na projektoru, mikroskopu, profiloměru) a následný výpočet prostého středního průměru.

Měření úhlu boku závitů je snazší u závitových trnů než u kroužků. Měření úhlu boku závitů je zvláště obtížné u menších závitových kroužků z důvodu nepřístupnosti.

### **Stanovení nejistoty**

Podrobný postup a matematické vztahy jsou uvedeny v EA-10.

Seznam možných vlivů na výslednou nejistotu veličiny střední průměr:

- nejistota naměřené hodnoty
- nejistota průměru měřicích drátků /kuliček speciálních doteků
- nejistota rozteče
- nejistota úhlu boku závitů
- vliv měřicí síly

Nejistota naměřené hodnoty se vztahuje k přímému měření, u trnu je to míra přes drátky, u kroužku hodnota naměřená pomocí speciálních doteků (T dotek). Nejistoty průměru drátků/kuliček, rozteče a úhlu souvisí s výpočtem středního průměru z naměřené hodnoty.

Význam jednotlivých vlivů na příkladu kalibrace závitového kroužku M10-6g-D:

#### **Nejistota naměřené hodnoty**

Do této nejistoty jsou zahrnuty vlivy známé z přímého měření na délkoměru:

- nejistota typu A
- nejistota etalonu (délkoměru)
- nejistota nastavného kroužku (kalibru, měrky)
- teplotní roztažnost
- rozlišovací schopnost
- vlastnosti T doteku (poloha kuliček vůči ose měření, opakovatelnost)

Výpočet nejistoty bude podobný, jako při měření hladkého kroužku stejného jmenovitého průměru jako závitový kroužek. Tato dílčí nejistota bude mít svůj vlastní rozpočet.

Její hodnota může být například  $U=1,0 \mu\text{m}$ ,  $k=2$ .

$$U = 1,0/2 = 0,5 \mu\text{m}$$

#### **Nejistota průměru měřicích drátků/kuliček speciálních doteků**

Pro měření středního průměru závitových kroužků se často používá dotek tvaru T se dvěma kuličkami. Průměry těchto kuliček je nutno stanovit kalibrací. Nejistota kalibrace kuliček je uvedena v kalibračním listě, například  $U=0,8 \mu\text{m}$ ,  $k=2$ , potom  $u=0,8/2=0,4 \mu\text{m}$ .

Pro převod nejistoty průměru kuliček na nejistotu středního průměru slouží citlivostní koeficient. Pro náš příklad  $c=1/\sin(\alpha/2)-1$ . Pro metrický závit  $\alpha=60^\circ$  vychází  $c=1$ .

Znamená to, že příspěvek k nejistotě středního průměru bude stejně velký jako nejistota průměru kuliček.

(Pozn.: Při kalibraci trnu měřicími drátky je situace jiná. Citlivostní koeficient  $c=1/\sin(\alpha/2)+1$ . Pro metrický závit  $\alpha=60^\circ$  vychází  $c=3$ . Při kalibraci trnu se na rozdíl od kalibrace kroužku projeví nejistota průměru drátku trojnásobně.)

## Nejistota rozteče

Z definice prostého středního průměru vyplývá, že je definován na základě jmenovité rozteče. Nejistota jmenovité hodnoty je nula.

Při stanovení nejistoty prostého středního průměru se nejistota rozteče nebere v úvahu.

## Nejistota úhlu boku závitu

Měření úhlu boku závitu u kroužků je obtížné z důvodu špatného přístupu k profilu závitu. To je jeden z důvodů proč se v praxi často počítá se jmenovitou hodnotou a výrobní tolerancí. Výrobní tolerance v našem příkladu je  $\pm 12'$ . Pro výpočet je nutno převést na radiány  $12' = 0,0035$  rad. Za předpokladu dodržení této výrobní tolerance je standardní nejistota úhlu boku závitu  $u = 0,0035 / \text{odmocnina}(3) = 0,002$  rad. (Předpokládáme rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti.)

Pro převod nejistoty úhlu (v radiánech) na nejistotu středního průměru slouží citlivostní koeficient.

Pro metrický závit  $c = 3,46 * (\Delta d)$  [1/rad]

Delta d je rozdíl mezi ideálním a skutečným průměrem kuliček měřících doteků.

Pozn. 1: Pokud použijeme kuličky o ideálním průměru, bude vliv nejistoty úhlu boku závitu na výslednou nejistotu nulový. ( $\Delta d = 0$ )

Pozn. 2: (teoretická) Pokud bychom znali úhel boku závitu s nulovou nejistotou, mohli bychom k měření použít jakýkoliv průměr kuličky (který se vejde do závitu) se stejným výsledkem.

Pozn. 3: Pokud není dodržena výrobní tolerance úhlu boku závitu, může se významně lišit výsledek měření téhož kroužku různými doteky s různým průměrem kuličky. Proto je vhodné uvádět do kalibračního listu skutečně použitý průměr kuliček měřících doteků.

Ideální průměr kuliček v tomto příkladu  $d = 0,866$  mm (Výpočet viz EA-10)

Skutečný průměr kuliček se liší podle toho, jakou sadu doteků má laboratoř k dispozici.

Například pokud nejbližší kulička v sadě doteků má průměr 0,7 mm, bude rozdíl delta  $d = 0,166$  mm, potom  $c = 3,46 * 0,166 = 0,574$  mm/rad.

Příspěvek k nejistotě středního průměru  $c * u = 0,574 * 0,002 = 0,00115$  mm = 1,15  $\mu$ m.

## Vliv měřicí síly

Měřicí síla elasticky deformuje kuličku nebo drátek a také měřený předmět. Při měření T dotyky a použití elektronických páčkových snímačů může být měřicí síla třeba jen 0,1 N a vliv měřicí síly je malý. Výpočet deformací pomocí Hertzových rovnic je obsažen v EA-10.

## Přehled nejistot

vliv naměřené hodnoty	0,5 $\mu$ m
vliv průměru kuličky	0,4 $\mu$ m
vliv rozteče	0
<u>vliv úhlu</u>	<u>1,15 <math>\mu</math>m</u>
výsledek	1,32 $\mu$ m

$$U = k * u = 2 * 1,32 = 2,7 \mu\text{m}$$

## **Práce s nejistotami při kalibraci závitových kroužků pomocí porovnávacích trnů**

Při zajištění metrologické návaznosti závitových kroužků pomocí porovnávacích trnů musíme mít k dispozici příslušné porovnávací trny s platnou kalibrací. Kalibrační listy těchto porovnávacích trnů obsahují naměřené hodnoty a nejistoty měření. Nejistotu měření je nutno vzít v úvahu při uvádění shody se specifikací.

Do kalibračního listu závitového kroužku se při této metodě uvedou hodnoty porovnávacích trnů z jejich kalibračních listů, včetně rozšířené nejistoty měření. U porovnávacích trnů použitých pro kalibraci závitového kroužku by měla být prohlášena shoda se specifikací v souladu s pravidly ILAC-G8.

Výsledek kalibrace závitového kroužku pomocí porovnávacích trnů se uvede slovy: „Vyhovuje na porovnávací trn“ nebo „Nevyhovuje na porovnávací trn“.

Je nutno zajistit vyrovnání teplot porovnávacích trnů a kalibrovaného kroužku. Pokud je porovnávací trn z materiálu s jinou teplotní roztažností než kroužek, je nutno provádět kalibraci při teplotě blízké 20 °C. Podrobný popis metody a tolerančních polí viz ČSN ISO 1502.

### **Uvádění shody se specifikací na kalibračních listech**

Závazná pravidla pro akreditované laboratoře popisuje dokument ILAC-G8. Populárně lze říci, že shodu lze prohlásit, když pásmo hodnot vymezené naměřenou hodnotou  $\pm$  její nejistotou leží celé v tolerančním poli. Neshodu lze prohlásit, když pásmo hodnot vymezené naměřenou hodnotou  $\pm$  její nejistotou leží celé mimo toleranční pole. Překrývá-li se pásmo hodnot vymezené naměřenou hodnotou  $\pm$  její nejistotou s horní nebo dolní mezí, nelze prohlásit shodu ani neshodu.

Prohlášení o shodě nebo neshodě musí obsahovat:

- naměřenou hodnotu a přidruženou nejistotu
- mezní hodnoty a zdroj odkud mezní hodnoty pochází například odkaz na článek technické normy
- slovní výrok o shodě např.: „Vyhovuje - výsledek měření je v rámci meze dané specifikací“ nebo „Nevyhovuje - výsledek měření je mimo meze dané specifikací“ nebo „S uvážením nejistoty měření nelze prohlásit shodu ani neshodu“

## **2.5. LITERATURA A DOKUMENTAČNÍ ZDROJE**

Vzhledem k obsažnosti studijní literatury byla tato vložena do přílohy č.8 této zprávy a aktuální je současně uvedena v příslušných kalibračních postupech (přílohy č.4 až 7 této zprávy).

## **3. ZÁVĚR**

Úkol PRM 2012 byl navržen po jednáních Technického výboru pro akreditaci kalibračních laboratoří ČIA i bilaterálních jednání ČMI a ČIA. V rámci řešeného úkolu byly splněny body zadání pro závěrečnou oponenturu; analýza provedená na základě podkladů získaných od

většiny akreditovaných kalibračních laboratoří v oboru geometrických veličin – délka a rovinný úhel a zpracováním zkušeností odborných posuzovatelů posuzujících v tomto oboru, byla potvrzena účelnost tohoto úkolu - poskytnout technické podklady a minimální požadavky pro činnost metrologických laboratoří (akreditovaných i neakreditovaných) a pro posuzování shody dle normy ČSN EN 17 025:2005, které následně budou aplikovat kalibrační laboratoře i ČIA.

Provedenou analýzou byly vytipovány čtyři nejproblémovější oblasti členěné v souladu s normou ČSN EN 17 025:2005 (viz 2.2.1 až 2.2.4) a u nich byla stanovena téma, která jsou zdrojem uvedených problémů. V částech Návrh řešení se řešitelé pokusili zaujmout stanovisko k identifikovaným problémům a navrhnout postupy řešení. Pro většinu svých návrhů našli řešitelé oporu v již existujících dokumentačních zdrojích, které cituje kapitola příloha č.8 Literatura a dokumentační zdroje, pro část navrhovaných opatření však nebyly nalezeny dostatečně věrohodné a zároveň jednoznačně dokumentované zdroje informací, které by byly veřejně k dispozici; přístupné akreditovaným i neakreditovaným kalibračním laboratořím, odborným posuzovatelům i ostatním pracovníkům ČIA, metrologům na různém stupni řízení metrologie v subjektech a v neposlední řadě zákazníkům využívajícím kalibrační služby.

Proto, aby se staly tyto technické podklady a minimální požadavky pro činnost metrologických laboratoří jednoznačnými a zpřístupnily se všem zájemcům, zaměřila se skupina řešitelů v konečném řešení úkolu na tyto problémy a konečný výsledek pro ně využitelný je obsažen v této zprávě včetně jejích příloh.

Byly zpracovány body řešení úkolu:

1. Rozděleny měřidla v oboru geometrických veličin (délka a rovinný úhel) do skupin pro účely vydávání certifikátů či osvědčení způsobilosti. Navrženo bylo ujednocení názvosloví pro tyto oblasti.
2. Zpracována byla vzorová analýza teplotních vlivů při kalibraci měřidel v oboru geometrických veličin (délka a rovinný úhel).
3. Pro vybraná měřidla v oboru geometrických veličin (délka a rovinný úhel) byl navržen minimální požadovaný rozsah a popsán způsob kalibrace.
4. Pro vybraná měřidla v oboru geometrických veličin (délka a rovinný úhel) byl zpracován seznam vlivů, které musí být analyzovány a případně vzaty v úvahu kalibrační laboratoří při výpočtu CMC.

Dále si klade skupina řešitelů za cíl získané informace resp. postupy zpřístupnit všem zájemcům, zejména odborné veřejnosti a výkonným metrologům a doporučit akreditovaným laboratořím a odborným posuzovatelům těchto laboratoří, aby se závěrům těchto řešení co nejvíce přiblížili.

Byl splněn cíl řešení úkolu; připravit podklady pro jednotný přístup laboratoří i posuzovatelů a připravit technické podklady pro sjednocení posuzování shody metrologických laboratoří dle normy ČSN EN ISO/IEC 17 025:2005 v oblasti geometrických veličin – délka a rovinný úhel, které mohou být následně aplikovány metrologickými laboratořemi i ČIA.

## 4. SEZNAM PŘÍLOH

	POČET STRAN
Příloha č. 1: Plánovací list úkolu PRM 2012 č. VII/4/12	1 až 3
Příloha č. 2: tabulka AKL v oborech délka a rovinný úhel použitých k analýze	1 až 22
Příloha č. 3: příklad správně formulované přílohy Osvědčení o akreditaci	1 až 2
Příloha č. 4: Kalibrační postup - skupina: KONCOVÉ MĚŘKY	1 až 7
Příloha č. 5: Kalibrační postup - skupina: POSUVNÁ MĚŘIDLA	1 až 11
Příloha č. 6: Kalibrační postup - skupina: ČÁRKOVÁ MĚŘIDLA	1 až 9
Příloha č. 7: Kalibrační postup - skupina: MĚŘIDLA ROVINNÉHO ÚHLU	1 až 9
Příloha č. 8: LITERATURA	1 až 12