



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A**  
**ROBOTIKY**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND  
ROBOTICS

# **HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI KONTROLNÍCH PROCESŮ**

EVALUATION OF CONTROL PROCESSES

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR  
**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**MARTIN ŠIMÁK**  
**doc. Ing. JIŘÍ PERNIKÁŘ, CSc.**

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Akademický rok: 2013/14

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Šimák

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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

### **Hodnocení způsobilosti kontrolních procesů**

v anglickém jazyce:

### **Evaluation of control processes**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Přehled legislativy v oblasti metrologie
2. Termíny přesnosti dle mezinárodního slovníku VIM 3
3. Vyjadřování nejistot měření
4. Hodnocení způsobilosti kontrolních procesů dle MSA
5. Závěr

Cíle bakalářské práce:

V seriové výrobě se často používají speciální kontrolní prostředky, pomocí kterých se musí spolehlivě rozhodovat o splnění požadavků na přesnost produktů. Pomocí metod matematické statistiky se rozhoduje, zda daný proces je způsobilý pro kontrolu přesnosti dané součásti. Cílem práce je vytvořit systém hodnocení kontrolních procesů.

Seznam odborné literatury:

1. PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-2.
2. ČECH, J., PERNIKÁŘ, J., PODDANÝ, K. Strojírenská metrologie. 4. přepracované vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 176s. ISBN 80-214-3070-2
3. CHUDÝ, V., PALENČÁR, R., KUREKOVÁ, E., HALAJ, M. Meranie technických veličín. 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 1999. 688 s. ISBN 80-227-1275-2.
4. ČSN 01 0115 Mezinárodní slovník základních termínů v metrologii.
5. VDA 5 Způsobilost kontrolních procesů. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost 2004. 112 s. ISBN 80-02-01656-4.
6. Fiala, A.: Statistické řízení procesů. Prostředky a nástroje pro řízení a zlepšování procesů. VUT v Brně, 1997. ISBN 80-214-0895-2


Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Pernikář, CSc.

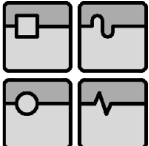
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 5.11.2013



  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
Ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 3
	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá teoretickým rozbohem hodnocení kontrolních procesů. V první části je rozebrána organizace celostátní legislativy a legislativa metrologie. V další části práce se práce zaměřuje na metrologické termíny, teoretický úvod do nejistot měření a jejich vyjadřování. Závěrečná část práce je věnována statistickému hodnocení způsobilost.

### **Klíčová slova**

metrologie, legislativa, přesnost, měření, měřidlo, nejistota měření, kontrolní proces,

## **ABSTRACT**

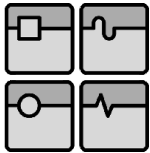
This bachelor thesis studies the theory of evaluation of control processes. The first part of the thesis discusses about organization of national legislation and metrology legislation. The next part of the study focuses on metrology terms, theory introduction to measurement uncertainty and their expression. The final section of the thesis is devoted to statistic evaluation of processes.

### **Key words**

metrology, legislation, accuracy, measurement, gauge, measurement uncertainty, control process,

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ŠIMÁK, Martin. *Hodnocení způsobilosti kontrolních procesů: Bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 41s., Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pernikář, CSc.



## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Hodnocení způsobilosti kontrolních procesů vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

22.5.2014

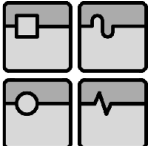
-----  
Datum

-----  
Martin Šimák

## OBSAH

ÚVOD.....	7
1. PŘEHLED LEGISLATIVY V OBLASTI METROLOGIE .....	8
1.1 Organizace celostátní legislativy .....	8
1.1.1 Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky .....	8
1.1.2 Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví .....	8
1.1.3 Český metrologický institut .....	9
1.1.4 Český institut pro akreditaci .....	9
1.2 Měřicí jednotky .....	9
1.2.1 Základní měřicí jednotky .....	9
1.3 Měřidla .....	10
1.3.1 Etalony .....	11
1.3.2 Stanovená měřidla.....	11
1.3.3 Pracovní měřidla .....	11
1.3.4 Certifikované referenční materiály .....	11
1.4 Metrologická návaznost měřidel .....	12
1.5 Schvalování typu stanovených měřidel .....	13
1.5.1 Schvalování typů měřidel vyrobených v tuzemsku.....	13
1.5.2 Schvalování typů měřidel vyrobených v zahraničí .....	13
1.6 Ověřování a kalibrace .....	14
1.6.1 Ověřování .....	14
1.6.2 Kalibrace .....	14
1.7 Národní metrologický systém .....	14
2. ZÁKLADNÍ METROLOGICKÉ TERMÍNY DLE MEZINÁRODNÍHO SLOVNÍKU VIM 3.....	16
2.1 Mezinárodní slovník VIM 3 .....	16
2.2 Veličiny a jednotky .....	17
2.3 Měření .....	18
2.4 Termíny přesnosti .....	19
3. VYJADŘOVÁNÍ NEJISTOT MĚŘENÍ .....	21
3.1 Nejistota měření .....	21
3.1.1 Standardní nejistota – $u$ .....	21
3.1.2 Standardní nejistota typu A – $u_A$ .....	21
3.1.3 Standardní nejistota typu B – $u_B$ .....	21

3.2	Zdroje nejistot měření .....	21
3.3	Udávání nejistot měření.....	22
3.4	Vyjadřování nejistot měření.....	22
3.4.1	Standardní nejistota typu A – $u_A$ (přímé měření jedné veličiny) .....	22
3.4.2	Standardní nejistota typu B – $u_B$ (přímé měření jedné veličiny).....	23
3.4.3	Kombinovaná standardní nejistota – $u_C$ .....	23
3.4.4	Rozšířená standardní nejistota – U .....	23
3.5	Měření a výpočet nejistoty [14] .....	24
3.5.1	Postup při měření .....	25
3.5.2	Měření .....	25
3.5.3	Výpočet nejistoty .....	26
4.	<b>HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI KONTROLNÍCH PROCESŮ DLE MSA</b> .....	28
4.1.	MSA .....	28
4.2.	Kvalita naměřených dat .....	28
4.3.	Proces kontroly .....	29
4.4.	Variabilita procesu měření .....	29
4.5.	Variabilita.....	30
4.5.1.	Přesnost .....	30
4.5.2.	Strannost.....	30
4.5.3.	Stabilita .....	31
4.5.4.	Linearita .....	31
4.6.	Opakovatelnost a reprodukovatelnost.....	32
4.6.1.	Opakovatelnost.....	32
4.6.2.	Reprodukovatelnost .....	33
4.6.3.	Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla – GRR .....	33
4.8	Vztah mezi opakovatelností a stranností.....	34
4.8	Hodnocení kontrolních procesů pomocí postupů $c_g$ , $c_{gk}$ a R&R .....	35
4.8.1	Analýza kontrolního procesu pomocí postupu $c_g$ a $c_{gk}$ .....	35
4.8.2	Analýza kontrolního procesu pomocí postupu R&R .....	37
	<b>ZÁVĚR</b> .....	38
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	39
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	40
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	41
	<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	41

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

## ÚVOD

Práce zpracovává přehled v oblasti státní legislativy metrologie v České republice, přehled základních metrologických termínů, základní informace o nejistotách měření včetně demonstrativního příkladu a teoretický přehled o hodnocení způsobilosti kontrolního procesu.

S rostoucím objemem průmyslové výroby, která je čím dál více transferována do automatizované výroby rapidně rostou požadavky na kvalitu výroby. Aby bylo možné danou kvalitu nabízet, je nutné přesně definovat legislativu metrologie, pomocí které experimentálně zjišťujeme data sloužící k vyhodnocení kvality výrobku. Pro definici legislativy na mezinárodní úrovni existuje dané orgány, kterým podléhají orgány tuzemské. Nejnadřazenější orgán v České republice je Ministerstvo obchodu a průmyslu, které vydává zákony.

Pro zajištění metrologické správnosti měření se musíme řídit danými termíny, které jsou používány globálně. Pro přehled těchto termínů v této práci byl jako základní zdroj dle zadání využíván Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny ve zkratce VIM 3, pro doplnění byla používána velice praktická norma ČSN 01 0115, která již dnes není v platnosti.

Se zvoleným měřidlem nebo měřícím systémem dále nastává otázka ohledně spolehlivosti naměřených hodnot. Informaci o spolehlivosti měření, tedy konkrétně zdali se naměřená hodnota nachází v určitém tolerančním poli, které udává měřidlo a měřící prostředí, nám určuje nejistota měření. Tato nejistota se dá kvantifikovat pomocí metodických výpočtů, v této práci je uveden teoretický přehled nejistot měření a na konec kapitoly je zařazeno demonstrativní měření včetně výpočtu nejistot měření s danou spolehlivostí.

Když jsou hodnoty naměřené s připojenou informací a spolehlivostí měření je nutné měřící proces zanalyzovat a zhodnotit. Ke zhodnocení způsobilosti kontrolního procesu slouží metoda MSA (statická metoda analýzy měření). Pro objektivní zhodnocení a posouzení daného kontrolního procesu je potřeba porozumět termínům a metodickým postupům, pomocí kterých se analýza vyhodnocuje. Práce obsahuje teoretický přehled termínů a postupů při realizaci této metody.

Cílem této práce je zhodnotit proces kontroly pomocí platné legislativy za použití oficiálních termínů s danými informacemi o možných nejistotách v procesu měření.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 8
	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

## 1. PŘEHLED LEGISLATIVY V OBLASTI METROLOGIE

V legislativě v oblasti metrologie se obecně řídíme podobně jako ve všech oblastech zákony, vyhlášky a dalšími předpisy, které jsou Ministerstvem průmyslu k tomu určené. Legislativa je důležitým pojmem a to ne jenom v metrologii ale obecně. Legislativa dává dohromady všechny potřebné předpisy a nařízení, přičemž se nemusí vždy jednat přímo o zákon, ale dokumenty a nařízení zákonu přidružené.

Nejdůležitějším zákonem v oblasti metrologie je zákon č. 505/1990 Sb. o metrologii ve znění všech dodatků. Účelem tohoto zákona je úprava práv a povinností fyzických osob, které jsou podnikateli, právnických osob a orgánů státní správy, a to v rozsahu potřebném k zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření. Dalšími důležitými zákony jsou zákon č. 20/1993 Sb. o zabezpečení výkonu státní správy v oblasti technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví a zákon č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky. Důležitým předpisem je vyhláška č. 345/2002 Sb. kterou se stanovují měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu.

### 1.1 Organizace celostátní legislativy

Pro správné zajištění legislativy v oblasti metrologie existuje několik orgánů, přičemž každý z nich má na starost určité úkony. Nejnadhřazenější organizací je organizace vládní – ministerstvo. Ministerstvo vydává zákony a vyhlášky, nařízení a pověření dalších orgánů k technickým úkonům. Další orgány státní legislativy vydávají předpisy podřízené zákonům a vyhláškám, provádějí technické úkony a pověřují (akreditují) další subjekty k jejich provádění. V rámci celostátní legislativy máme tyto orgány:

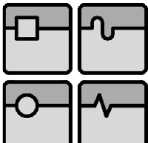
#### 1.1.1 Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky [7]

Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky je ústředním orgánem státní správy zajišťující legislativu a státní politiku v oblasti průmyslu, obchodu, surovin a ekonomických vztahů vůči zahraničí. Ministerstvo vydává zákony a vyhlášky, zajišťuje nebo pověřuje instituce k vykonávání úředních výkonů, je to nejnadhřazenější orgán v oblasti průmyslové legislativy. V minulosti bylo ministerstvo rozděleno na ministerstvo průmyslu, obchodu, plánování atd. Dnes je již jediné ministerstvo, pod které spadá průmysl, obchod a plánování. Ministerstvo průmyslu a obchodu vzniklo 1. listopadu roku 1992. Ministerstvo zabezpečuje řízení státní politiky v oblasti metrologie a zajišťuje řízení ostatních orgánů státní správy (ÚNMZ, ČMI, ČIA). [2]

#### 1.1.2 Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví [8]

Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (dále jen ÚNMZ) byl zřízen zákonem České národní rady č. 20/1993 Sb. o zabezpečení výkonu státní správy v oblasti technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví. ÚNMZ je organizační složkou státu v resortu Ministerstva průmyslu a obchodu ČR.

ÚNMZ zejména řídí činnost orgánů státní metrologie, autorizuje organizace pro výkony státní metrologie a pro úřední měření, stanoví měřidla podléhající povinnému ověřování, schvaluje metrologické předpisy, schvaluje a vyhláší státní etalony a certifikační

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 9
	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

materiály, rozhoduje o uznání schválení typu nebo o ověření měřidla a povoluje výjimky ze státní metrologické kontroly měřidel. [2]

### **1.1.3 Český metrologický institut [9]**

Český metrologický institut (dále jen ČMI) zabezpečuje jednotnost a přesnost měření v oborech vědeckých, technických a hospodářských v rozsahu podle § 14 zákona č. 505/1990 Sb. o metrologii, ve znění pozdějších předpisů. Institut poskytuje také široké spektrum služeb, jakými jsou např. kalibrace a ověřování měřidel, metrologické zabezpečení hotově baleného zboží, validace SW měřících přístrojů, outsourcing, průzkum potřeb, normalizace atd.

ČMI zejména provádí metrologický výzkum, uchovává státní etalony zahrnující také přenos měřících jednotek na měřidla přesností nižších, řídí tvorbu referenčních materiálů a jejich osvědčování, zabezpečuje účast na mezinárodní spolupráci v oblasti metrologie, zpracovává a vydává metrologické předpisy, vykonává státní metrologickou kontrolu měřidel fyzických a právnických osob, provádí registraci výrobců a opravářů měřidel, poskytuje metrologické expertízy a informace, atd. [2]

### **1.1.4 Český institut pro akreditaci [10]**

Český institut pro akreditaci (dále jen ČIA), je obecně prospěšná společnost, národní akreditační orgán založený vládou Českou republikou a notifikovaný Evropskou komisí. ČIA poskytuje své služby v souladu s platnými právními předpisy ve všech oblastech akreditace státním i privátním orgánům. Princip akreditačního systému vychází z Nového legislativního rámce EU zahrnujícího rovněž nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č.765/2008, kterým se stanovují požadavky na akreditaci a dozor nad trhem.

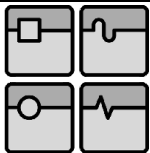
ČIA zejména provádí akreditaci zkušebních a kalibračních laboratoří, zastupuje ČR v příslušných mezinárodních organizacích, buduje a zajišťuje akreditační systém v ČR podle evropských norem řady 45000, uděluje, odnímá či mění osvědčení o akreditaci, stanovuje kvalifikační požadavky na posuzovatele a na pracovníky akreditovaných míst, podílí se na jejich doškolování, atd. [2]

## **1.2 Měřící jednotky [1]**

Subjekty a orgány státní správy jsou povinny používat základní měřící jednotky uvedené v zákonu č. 505/1990 Sb. O metrologii, jejich označování, násobky a díly stanovené vyhláškou, a ostatní jednotky, jejich označování, definice, násobky a díly stanovené vyhláškou. V mezinárodním styku lze použít měřící jednotky odpovídající mezinárodním obchodním zvyklostem.

### **1.2.1 Základní měřící jednotky**

- a) jednotka délky - metr (m); metr je délka dráhy, kterou proběhne světlo ve vakuu za dobu  $1/299\,792\,458$  sekundy,
- b) jednotka hmotnosti - kilogram (kg); kilogram se rovná hmotnosti mezinárodního prototypu kilogramu,



- c) jednotka času - sekunda (s); sekunda je doba trvání 9 192 631 770 period záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia 133,
- d) jednotka elektrického proudu - ampér (A); ampér je stálý elektrický proud, který při průchodu dvěma přímými rovnoběžnými nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu umístěnými ve vakuu ve vzdálenosti 1 metr vyvolá mezi nimi sílu  $2 \times 10^{-7}$  newtonu na 1 metr délky vodičů,
- e) jednotka termodynamické teploty - kelvin (K); kelvin je  $1/273,16$  díl termodynamické teploty trojného bodu vody,
- f) jednotka látkového množství - mol (mol); mol je látkové množství soustavy, která obsahuje právě tolik elementárních jedinců (entit), kolik je atomů v 0,012 kilogramu izotopu uhlíku  $^{12}\text{C}$ . Při udávání látkového množství je třeba elementární jedince (entity) specifikovat; mohou to být atomy, molekuly, ionty, elektrony, jiné částice nebo blíže neurčená seskupení částic,
- g) jednotka svítivosti - kandela (cd); kandela je svítivost zdroje, který v daném směru je  $1/683$  wattu na steradián. Vysílá monochromatické záření s kmitočtem  $540 \times 10^{12}$  hertzů a jehož zářivost v tomto

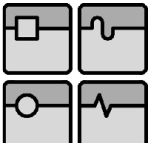
Tab. 1.1 - Základní veličiny a jednotky SI

Základní veličina	Základní jednotka	
	Název	Značka
délka	metr	m
hmotnost	kilogram	kg
čas	sekunda	s
elektrický proud	ampér	A
termodynamická teplota	kelvin	K
látkové množství	mol	mol
svítivost	kandela	cd

### 1.3 Měřidla [1]

Měřidla slouží k určení hodnoty měřené veličiny. Spolu s nezbytnými pomocnými měřicími zařízeními se podle zákona č. 505/1990 Sb. ve znění 119/2000 Sb. člení na:

- etalony,
- pracovní měřidla stanovená (dále jen "stanovená měřidla");
- pracovní měřidla nestanovená (dále jen "pracovní měřidla");

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- d) certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály, pokud jsou určeny k funkci etalonu nebo stanoveného nebo pracovního měřidla.

### 1.3.1 Etalony

Etalon je ztělesněná míra, měřicí přístroj, měřidlo, referenční materiál nebo měřicí systém, které jsou určeny k definování, realizování, uchování nebo reprodukování jednotky nebo jedné či více hodnot veličiny pro referenční účely. Etalony podléhají kalibraci, lhůtu do kalibrace určuje uživatel. Etalon musí být řádně označen a musí být používán výhradně pro etalonážní práce.

### 1.3.2 Stanovená měřidla

Stanovená měřidla jsou měřidla, která Ministerstvo průmyslu a obchodu stanovuje vyhláškou č. 345/2002 Sb. k povinnému ověřování s ohledem na jejich význam

- a) v závazkových vztazích, například při prodeji (např. váhy v obchodě), nájmu nebo darování věci, při poskytování služeb nebo při určení výše náhrady škody, popřípadě jiné majtkové újmy,
- b) pro stanovení sankcí, poplatků, tarifů a daní,
- c) pro ochranu zdraví, např. hlukoměry,
- d) pro ochranu životního prostředí, např. měřiče ionizačního záření
- e) pro bezpečnost při práci, nebo
- f) při ochraně jiných veřejných zájmů chráněných zvláštními právními předpisy.

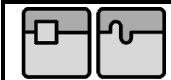

Stanovená měřidla podléhají schválení typu, ověřují se, lhůta je určena vyhláškou č. 345/2002 Sb. kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu. Ověřování provádí pouze ČMI.

### 1.3.3 Pracovní měřidla

Pracovní měřidla jsou měřidla, která nejsou etalonem ani stanoveným měřidlem. Pracovní měřidla se kalibrují, lhůtu do kalibrace určuje uživatel.

### 1.3.4 Certifikované referenční materiály

Certifikované referenční materiály (CRM) a ostatní referenční materiály jsou materiály nebo látky přesně stanoveného složení nebo vlastností, používané zejména pro ověřování nebo kalibraci přístrojů, vyhodnocování měřících metod a kvantitativní určování vlastností materiálů. Složení nebo vlastnosti CRM jsou certifikovány Českým metrologickým institutem nebo autorizovaným metrologickým střediskem. Certifikačním referenčním materiálem se tedy rozumí referenční materiál vybavený certifikátem, který zajišťuje návaznost na přesnou realizaci dané jednotky, v níž jsou hodnoty vlastností vyjádřeny a pro kterou je každé certifikované hodnotě připojený údaj o nejistotě ve stanovené úrovni spolehlivosti. Používají se pro ověřování nebo kalibraci stanovených měřidel. Pozn.: používají se hlavně v chemickém průmyslu.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 12
	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

➤ **Certifikace referenčních materiálů**

Certifikací referenčního materiálu se potvrzuje hodnota jedné nebo více vlastností materiálu nebo látky postupem zajišťujícím návaznost na správnou realizaci jednotky, kterou se vyjadřují hodnoty vlastnosti, uvedené v certifikátu. Náležitosti certifikátu stanoví ministerstvo vyhláškou. O certifikaci referenčního materiálu se vydává certifikát udávající jednu nebo více hodnot vlastností a jejich nejistot a potvrzující, že byly dodrženy stanovené postupy k potvrzení vlastností a návaznosti.

➤ **CRM – organizace návaznosti na státní etalon** (Etalon / odpovědnost / dokumentace):

- Státní etalon / Český metrologický institut / kalibrace referenčních etalonů
- Referenční etalon / akreditované kalibrační útvary / kalibrační listy pro pracovní etalony
- Pracovní etalon, podnikový etalon / podnikové kalibrační útvary / podnikové kalibrační listy, kalibrační značky
- Měřicí zařízení / všechny útvary podniku / zkušební značky atd.
- 

Podle zákona o metrologii je povinností každého subjektu zajistit podmínky správného měření, to znamená mít všechna měřidla navázána nepřerušovaným řetězcem na příslušný etalon nejvyššího řádu. U etalonů a pracovních měřidel stanovit lhůty do kalibrace a vést o ní záznamy. Identifikace měřidel musí být provedena nerasatelným způsobem.

## 1.4 Metrologická návaznost měřidel [1]

Rozumí zařazení daných měřidel do nepřerušené posloupnosti přenosu hodnoty veličiny počínající etalonem nejvyšší metrologické kvality pro daný účel.

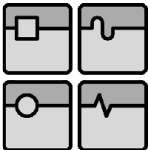
Mezinárodní etalon je etalon uznaný mezinárodní dohodou k tomu, aby sloužil v mezinárodním rozsahu jako základ pro stanovení hodnot jiných etalonů předmětné veličiny.

Národní státní etalon je etalon uznaný národním rozhodnutím k tomu, aby sloužil v dané zemi jako základ pro stanovení hodnot jiných etalonů předmětné veličiny. Státní etalony mají pro příslušný obor měření nejvyšší metrologickou kvalitu ve státě. Schvaluje je Úřad, který také stanoví způsob jejich tvorby, uchování a používání. Za tvorbu, rozvoj a udržování státních etalonů odpovídá stát, který tuto činnost zajišťuje podle tohoto zákona. Státní etalony uchovává Český metrologický institut nebo oprávněné subjekty pověřené Úřadem k této činnosti.

Primární etalon je etalon, který je označený nebo široce uznávaný jako etalon, který má nejvyšší metrologickou kvalitu ve stanovené oblasti a jehož hodnota je přijímána bez odkazu na jiné etalony stejné veličiny.

Referenční etalon je etalon nejvyšší metrologické jakosti, dostupný v daném místě, nebo v dané organizaci, z něhož se odvozují zde prováděná měření.

Etalon přenosu je etalon používaný jako prostředek při vzájemném porovnávání etalonů.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 13
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Cestovní etalon je etalon, často speciálního provedení, určený pro přenos jednotky mezi jednotlivými lokalitami.

Pracovní etalon je etalon, většinou kalibrováný vzhledem k referenčnímu etalonu, který se běžně používá pro kalibrování nebo kontrolu koncových měrek, měřidel, nebo referenčních materiálů.

## 1.5 Schvalování typu stanovených měřidel [1]

### 1.5.1 Schvalování typů měřidel vyrobených v tuzemsku

Schvalování typu měřidla provádí Český metrologický institut. Zjišťuje, zda měřidlo bude schopno plnit funkci, pro kterou je určeno. Tento požadavek se považuje za splněný, pokud je měřidlo v souladu s požadavkem stanoveným opatřením obecné povahy. Postup schvalování typu měřidla stanoví ministerstvo vyhláškou. Minimální počet vzorků měřidla potřebných pro schvalování typu měřidla, které výrobce poskytne bezplatně, stanoví Český metrologický institut.

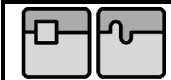

Na základě technických zkoušek a dalších zjištění Český metrologický institut vydá certifikát, že měřidlo jako typ schvaluje, a přidělí mu značku schválení typu, kterou musí výrobce, pokud tak stanoví ministerstvo vyhláškou, umístit na měřidlo. Náležitosti certifikátu o schválení typu měřidla a grafickou podobu značky schválení typu stanoví vyhláška. Platnost certifikátu o schválení typu měřidla zaniká uplynutím deseti let od data jeho vydání. Tuto lhůtu může Český metrologický institut na žádost výrobce nebo dovozce prodloužit o dalších deset let; počet měřidel, která lze podle schváleného typu vyrobit, není omezen.

Platnost certifikátu o schválení typu se pozastavuje, jestliže změnou konstrukce měřidla, použitého materiálu nebo technologie jeho výroby byly ovlivněny vlastnosti rozhodné pro jeho schválení.

### 1.5.2 Schvalování typů měřidel vyrobených v zahraničí

Nově dovážené typy stanovených měřidel podléhají povinnému schvalování typu. Žádost o schválení typu dovezeného měřidla podává Českému metrologickému institutu ten, kdo uskutečňuje dovoz, pokud již nebyl typ schválen na žádost zahraničního výrobce před uskutečněním dovozu. Není-li možné nebo hospodárné předkládat vzorky, dovozce je povinen umožnit Českému metrologickému institutu zjištění podmínek rozhodných pro schválení typu měřidla jiným způsobem postačitelným k účelu schvalování typu.

Pokud měřidlo bylo vyrobeno a uvedeno do oběhu v některém z členských států Evropské unie nebo Evropského hospodářského prostoru nebo ve státě, s nímž je sjednána mezinárodní smlouva o uznávání, kterou je Česká republika vázána, v souladu s příslušnými předpisy tohoto státu, a v České republice podléhá požadavku na schválení typu, uznávají se výsledky metrologických zjištění provedených v tomto státě, pokud zaručují metrologickou úroveň, jakou vyžaduje právní úprava v České republice, a pokud tyto výsledky jsou k dispozici Českému metrologickému institutu.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 14
	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

## 1.6 Ověřování a kalibrace [1]

### 1.6.1 Ověřování

Ověřením pracovního měřidla se potvrzuje, že stanovené měřidlo má požadované metrologické vlastnosti, které určuje certifikát Českého metrologického institutu o schválení typu. Tento požadavek se považuje za splněný, pokud je měřidlo v souladu s požadavkem stanoveným opatřením obecné povahy. Postup při ověřování stanovených měřidel stanovuje ministerstvo vyhláškou. Ověřování provádí Český metrologický institut nebo autorizované metrologické středisko, pracovník který provádí ověřování musí mít certifikát, který ho k tomu pověřuje.

Ověřené pracovní měřidlo opatří Český metrologický institut nebo autorizované metrologické středisko úřední značkou nebo vydá ověřovací list a nebo použije obou těchto způsobů. Grafickou podobu úřední značky a náležitosti ověřovacího listu stanoví ministerstvo vyhláškou. Za úřední značku prvotního ověření také považuje označení shody a zajišťovací značky výrobce, umístěné na stanoveném měřidle, které bylo uvedeno na trh podle zvláštního právního předpisu.

Měřidla k povinnému ověřování stanovuje vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č. 345/2002 Sb. kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu. Ověřování se provádí pro **stanovená měřidla**.

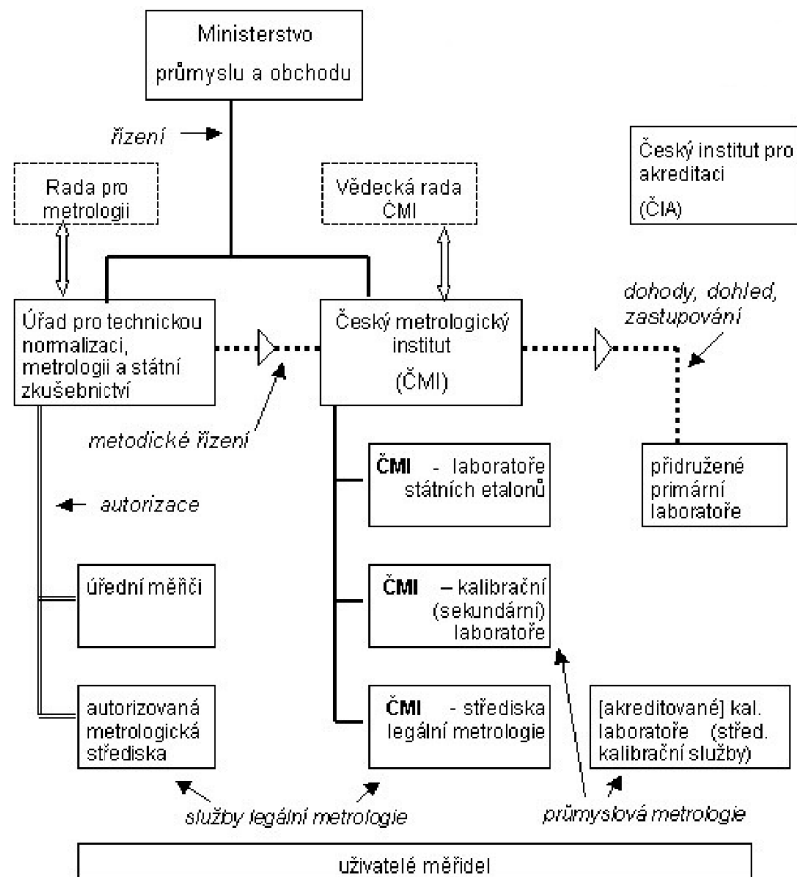
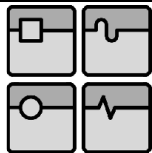
### 1.6.2 Kalibrace

Kalibrace je proces, pomocí kterého se zjišťuje závislost mezi údaji daného měřidla a údaji referenčního etalonu. Je základním prostředkem při zajišťování návaznosti výsledků měření. Při kalibraci měřidla se jeho metrologické vlastnosti porovnávají s referenčním etalonem; Porovnáním se zjišťují metrologické charakteristiky měřidla. Kalibrační měřidla se dosahuje toho, že jsou buď přičleněny hodnoty měřených veličin k indikovaným hodnotám, nebo se stanoví korekce vůči indikovaným hodnotám. Výsledek kalibrace je zaznamenán v kalibračním listu. Subjekt, který chce provádět kalibraci měřidel, musí mít navázaný podnikový etalon. Za špatnou kalibraci může ÚNMZ udělit pokutu až 1 milión korun. Kalibrují se **pracovní měřidla a etalony**.

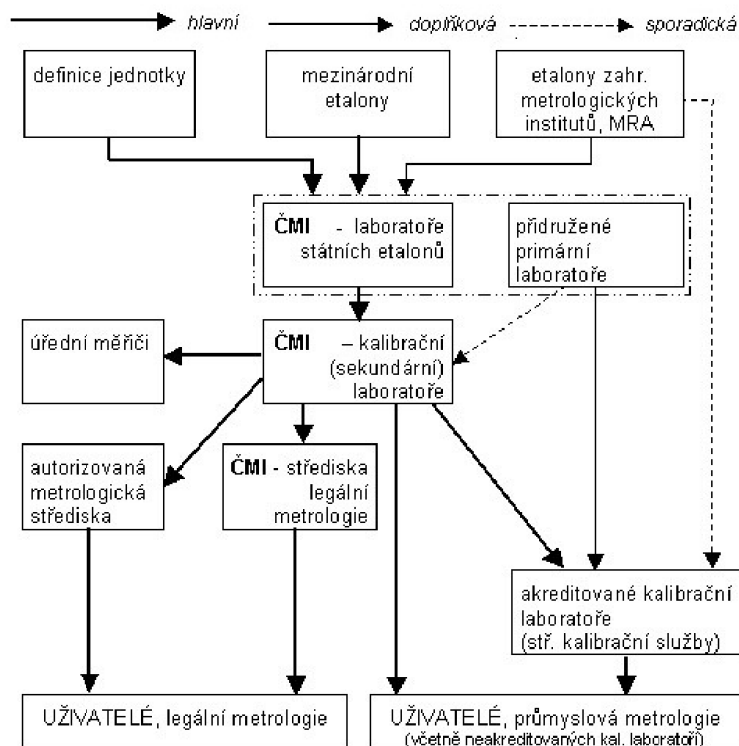
## 1.7 Národní metrologický systém [9]

Národní metrologický systém (dále jen NMS) je soustavou právních a technických předpisů tvořený systém, který primárně vymezuje postavení orgánů státní správy a subjektů vyrábějícími, opravujícími a montujícími měřidla a uživateli měřidel. NMS slouží tedy k zajištění správnosti a jednotnosti měření a měřidel, prostřednictvím technických předpisů, technických prostředků a zařízení, práv a povinností správních orgánů, právnických nebo podnikajících fyzických osob. Základními oblastmi působnosti tohoto systému jsou:

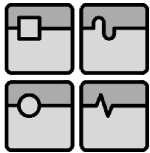
- **fundamentální metrologie**, která se zabývá soustavou měřicích jednotek a státními etalony
- **legální metrologie**, která zabezpečuje jednotnost a správnost měření v regulované sféře podle platné právní úpravy
- **průmyslová metrologie**, zaměřená na obsluhu měřidel v průmyslu, zajišťující předpoklady pro dosažení vysoké jakosti výrobků a služeb v širokém oboru měření a zkoušení.



Obr.1.1 – Subjekty působící v národním metrologickém systému ČR



Obr. 1.2 - Cesty zabezpečení metrologické návaznosti v NMS



## 2. ZÁKLADNÍ METROLOGICKÉ TERMÍNY DLE MEZINÁRODNÍHO SLOVNÍKU VIM 3

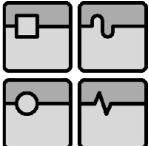
Pro správnou odbornou definici, objasnění či demonstraci jakéhokoliv procesu, postupu či problému musíme používat mezinárodně uznávané termíny, kterým také musíme zcela rozumět. Takové materiály, ve kterých najdeme dané termíny, musí být aktuálně platné a vydané příslušnými organizacemi s pravomocemi pro vydávání takových materiálů. Takových organizací je globálně mnoho, jsou to organizace vládní, nevládní i organizace soukromé. Celosvětovou harmonizaci technických norem, termínů a předpisů zajišťuje mezinárodní organizace ISO z anglického International Organization for Standardization (mezinárodní organizace pro standardizaci), se sídlem ve Švýcarsku. ISO je jedna z nejnadřazenějších organizací v tomto směru působení. Pro účely metrologie budeme pracovat s mezinárodním slovníkem termínů, který také vydává organizace ISO.

Z důvodu mnohdy nepřesného vyjádření odborných termínů v novém vydání metrologického slovníku (VIM 3), pro přesnou definici a porozumění metrologických pojmů zde použijeme jako zdroje také původní normu ČSN 01 0115:1991 Názvosloví v metrologii, a druhé vydání VIM 2 (Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii). Obecně mezi zkušenými metrology se jedná o materiály, které jsou k porozumění praktičtější než nové vydání tohoto slovníku.

### 2.1 Mezinárodní slovník VIM 3 [11]

Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny ve zkratce VIM z anglického International vocabulary of metrology (metrologický slovník), je terminologickým slovníkem, jehož obsahem jsou definice a označení specifických oborů. Slovník je označen TNI 01 0115:2009 a jedná se o českou verzi normativního dokumentu ISO/IEC GUIDE 99:2007. Jedná se celkově o třetí verzi slovníku, tímto vydáním (ISO/IEC GUIDE 99:2007) se ruší a nahrazuje druhé vydání, tzn. Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii. Slovník vydává organizace ISO, českou verzi slovníku vydává Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

Obecně řečeno se jedná o terminologický slovník, který označuje a definuje termíny v oblasti metrologie, tzn. vědě o měření a její aplikaci. Slovník též zahrnuje principy zacházení se základními jednotkami a veličinami. K tomuto třetímu vydání vedla primárně potřeba zahrnout do slovníku také měření v chemii a laboratorní medicíně, což v této práci dále nebude podrobněji zmiňováno. Druhým pilotním důvodem ovšem byla potřeba zahrnout pojmy, které se vztahují k metrologické návaznosti, nejistotě měření a jmenovitým vlastnostem, tyto pojmy se v této práci objevují vícekrát. Pro demonstraci si uvedeme změnu ve zpracování nejistoty měření od přístupu „chybového“, k přístupu „nejistotovému“. Tato změna si vyžádala nové zvážení některých souvisejících pojmů uvedených ve druhém vydání VIM, je však nutno podotknout, že ne každý odborník považuje tuto změnu za pozitivní. V tomto slovníku se vychází s neexistujícího zásadního rozdílu v základních principech měření ve fyzice, chemii, technice, laboratorní medicíně aj. Je možné, že narazíme na některé pojmy, které se ve třetím vydání VIM oproti druhému neobjevují, je to z důvodu toho že tyto pojmy nadále nejsou považovány za základní nebo všeobecné, nic méně mezi odborníky se pojmy nadále používají a jsou ve většině případů široce uznávané. Zde je také prostor k myšlence, proč se již ověřené a fungující principy mění a zavádí se nové i v takových oblastech, kde to dle zkušených odborníků potřeba není.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 17
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Definice a pojmy uvedené v tomto třetím vydání VIM, se shodují, pokud je to možné, s pravidly terminologické práce tak jak je definováno v ISO 704, ISO 1087-1 a ISO 10241. Pojmy jsou uvedeny v pěti kapitolách, ve kterých jsou také logicky uspořádány. U určitých definic je nutné použití nedefinovaných pojmů tzv. „primárních pojmů“, např. systém, složka, jev, látka, vlastnost, velikost, materiál atd. Pro usnadnění pochopení mezi pojmových vztahů nám pomůže příloha se vztahovými diagramy. U mnoha definic jsou uvedeny doplňkové informace ve formě příkladů a poznámek k zaručení sto procentní pochopitelnosti.

## 2.2 Veličiny a jednotky [11]

První kapitola slovníku VIM3. Pro jasnou definici a zaručenou správnost každého měření sledované veličiny, musíme používat přesně dané jednotky. Jak si dále uvedeme, můžeme se setkat s veličinami základními nebo odvozenými a stejně tak to je i s jednotkami. K jasnému pochopení a nastudování těchto pojmů můžeme použít například tuto kapitolu slovníku.

**Veličina** – je vlastnost tělesa, jevu nebo látky, která má velikost. Tato velikost se musí dát vyjádřit jako číslo nebo reference. Veličina může charakterizovat například délku, energii, elektrický náboj, elektrickou rezistenci, tvrdost materiálu atd. Termín veličina lze také dále rozdělit na pojmy chemická veličina, fyzikální veličina, biologická veličina nebo na základní veličinu a veličinu odvozenou.

**Druhy veličiny** – je termín, který rozděluje srovnatelné veličiny dopodrobna. Lze uvést příklad energii, která je obecně veličina. energii máme potenciální, kinetickou, tepelnou atd., jedná se o druh energie, kterým se blíže specifikují její vlastnosti. Jako další příklad lze uvést délku, druhem veličiny může být vlnová délka, obvod, poloměr atd. Nutno dodat že veličiny stejného druhu mají také stejné jednotky. Není ovšem pravidlo že veličiny, které mají stejné jednotky jsou veličiny stejného druhu.

**Mezinárodní soustava veličin** – je soustava veličin, na které byla založena Mezinárodní soustava jednotek (SI). Tato soustava obsahuje sedm základních veličin: délku, hmotnost, čas, elektrický proud, termodynamickou teplotu, látkové množství a svítivost.

**Měřicí jednotka** – je skalární veličinou, která musí být naprosto jasně definovaná a konvencí přijatá. S touto veličinou musí být porovnatelná každá jiná veličina stejného druhu. Měřicí jednotky se označují přidělenými názvy a značkami. Hodně názvů jednotek je spojováno přímo s názvem základní veličiny, například kilogram je nazván jako měřicí jednotka hmotnosti.

**Základní měřicí jednotka** – je jednotka, která je vždy napevno přiřazena k základní veličině. Základní veličina má vždy základní měřicí jednotku (délka-metr, čas-sekunda) atd.

**Odvozená měřicí jednotka** – je jednotka která je odvozený podle druhu odvozené veličiny. Zpravidla odvozená jednotka sestává z více jednotek základních. Pro snadnou demonstraci lze uvést například jednotku rychlosti: m/s, jednotka se skládá ze dvou základních jednotek (metr, sekunda), které jsou přiřazeny ke dvou základním veličinám (délka, čas).

**Soustava jednotek** – je soubor jednotek základních a odvozených, který uvádí také jejich díly a násobky. Tento soubor musí podléhat daným definicím v harmonii s pravidly pro danou soustavu veličin.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 18
	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

**Mezinárodní soustava jednotek SI** – je soustava jednotek přímo závislá na mezinárodní soustavě veličin. Tato soustava jednotek je přijatá Generální konferencí pro váhy a míry (CGPM). Jednoduchý přehled této soustavy má v první kapitole, Tab.1.

**Násobek jednotky** – reprezentuje měřicí jednotku, kterou získáme násobením dané měřicí jednotky. Násobení musí být celým číslem větším než 1. Například kilometr je dekadickým násobkem základní jednotky délky-metru, hodina je násobkem sekundy atd.

**Díl jednotky** – reprezentuje měřicí jednotku, kterou získáme dělením dané měřicí jednotky. Dělení musí být celým číslem větším než 1. Například milimetr je dekadickým dílem základní jednotky délky-metru, minuta je nedekadickým dílem hodiny, atd.

**Hodnota veličiny** – je číslo a reference společné vyjadřující velikost veličiny. Například délka tyče 4,8 m nebo 488 cm nebo také 4880 mm, hmotnost tělesa 1,22 kg nebo 1220 g.

### 2.3 Měření [11]

Druhá kapitola slovníku VIM3. Měření je proces experimentálního získávání jedné nebo více hodnot veličiny, které mohou být důvodně přiřazené veličině. Každé měření sloužící ke zjišťování hodnot veličin má svoje specifikované postupy měření a podmínky měření, pro danou veličinu, která má být měřena.

**Metrologie** – je věda o měření a aplikaci, zahrnuje všechny teoretické a praktické aspekty měření, jakékoliv nejistoty měření a obory použití.

**Měřená veličina** – jedná se o veličinu které má být měřena, její specifikace vyžaduje znalost druhu veličiny, popis stavu jevu, látky nebo tělesa nesoucích veličinu, včetně jakékoliv relevantní složky.

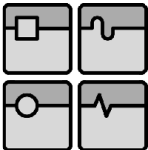
**Měřicí princip** – detailní popis měření v závislosti na jednom nebo více měřících principů a vzaté měřicí metodě, založená na modelu měření zahrnující všechny výsledky k získání výsledků měření. Měřicí princip je obvykle dokumentován detailně k umožnění operátorovy provedení měření.

**Rozlišitelnost (indikačního zařízení)** – kvantitativní vyjádření způsobilosti indikačního zařízení rozlišit velmi blízké hodnoty indikované veličiny. Rozlišitelnost je interpretována například jako hodnota jednoho dílku stupnice u analogových měřidel a hodnota jednoho digitu u digitálních měřidel.

**Výsledek měření** – je soubor hodnot veličiny, který je přiřazený měřené veličině dohromady se všemi dalšími dostupnými relevantními informacemi.

**Naměřená hodnota veličiny** – jinak také naměřená hodnota, je hodnota veličiny reprezentující výsledky měření.

**Měřicí rozsah** – je soubor hodnot měřených veličin, pro které se předpokládá, že chyba měřícího přístroje leží v rozsahu specifikovaných mezních hodnot.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 19
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

**Pravá hodnota veličiny** – hodnota veličiny shodující se s definicí veličiny. Jedná se o skutečnou hodnotu veličiny, která nemůže být zjištěna, jelikož každý měřicí systém má svoje chyby. Pravá hodnota se prakticky nedá změřit, to by musela být měřidla absolutně přesná.

**Nejistota měření** – je parametr připojený k výsledku měření. Tento parametr charakterizuje rozptyl hodnot, ve kterém se s vysokou pravděpodobností nachází hodnota pravé veličiny.

**Standardní nejistota měření** – je nejistota měření, která je vyjádřena jako směrodatná odchylka

## 2.4 Termíny přesnosti [11]

**Přesnost měření** – těsnost shody mezi naměřenou hodnotou a pravou hodnotou měřené veličiny. Pojem přesnost měření není veličinou ani není dán číselnou hodnotou veličiny, nedá se kvantifikovat. **Jedná se o kvalitativní pojem.** Přesnost měření se určuje pomocí pravdivosti a preciznosti měření. K základním charakteristikám přesnosti měřidla patří rozlišitelnost a největší dovolená chyba.

**Pravdivost měření** – těsnost shody mezi aritmetickým průměrem nekonečného počtu opakovaných naměřených hodnot veličiny a referenční hodnotou veličiny. Je nutno podotknout, že pravdivost měření není veličinou a nemůže být vyjádřena číselně (aritmetický průměr z nekonečného počtu také nelze spočítat). Toto vyjádření ve VIM 3 není dostatečně zřetelné.





**Preciznost měření** – těsnost shody mezi indikacemi nebo naměřenými hodnotami veličiny získanými opakovanými měřeními na stejném objektu nebo na podobných objektech za specifikovaných podmínek. Preciznost měření se kvantifikuje směrodatnou odchylkou, rozptylem nebo variačním koeficientem za specifikovaných podmínek měření. Preciznost měření rozdělujeme na preciznost za podmínek opakovatelnosti a preciznost za podmínek reprodukovatelnosti.

**Preciznost za podmínek opakovatelnosti** – je těsnost shody mezi výsledky po sobě následujících měření téže měřené veličiny provedených za stejných podmínek měření, tzv. podmínek opakovatelnosti. Mezi podmínky opakovatelnosti patří tentýž postup měření, tentýž pozorovatel, totéž místo, tentýž měřicí přístroj, opakování měření v průběhu krátké časové periody. [3]

**Preciznost za podmínek reprodukovatelnosti** – je těsnost shody mezi výsledky měření téže měřené veličiny provedených za změněných podmínek měření. Mezi změněné podmínky lze zahrnout princip měření, metodu měření, pozorovatele, měřicí přístroj, referenční etalon, místo, atd. [3]

**Chyba měření** - celková chyba měření je součet systematické chyby měření a náhodné chyby měření. Kvantifikuje rozdíl mezi naměřenou hodnotou a konvenční hodnotou.

**Systematická chyba měření** – je střední hodnota, která by vznikla z nekonečného počtu měření téže měřené veličiny, uskutečněných za podmínek opakovatelnosti, od které se odečte pravá hodnota měřené veličiny. Systematickou chybu eliminujeme pomocí korekce.

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 20
 	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

**Náhodná chyba měření** – je výsledek měření mínus střední hodnota, který by vznikla z nekonečného počtu měření téže měřené veličiny uskutečněné za podmínek opakovatelnosti. Náhodná chyba může nabývat maximálních hodnot  $\pm 3s$  (směrodatné odchylky). Snížit ji můžeme tak, že měření opakujeme  $n$ -krát za podmínek opakovatelnosti a jako výsledek vypočteme aritmetický průměr  $\bar{x}$ . Hodnota  $\bar{x}$  je nová náhodná veličina, která má svou směrodatnou odchylku  $s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}}$  kde  $s_x$  je směrodatná odchylka jednoho údaje.

To znamená, když opakujeme měření **4x**, hodnota náhodné chyby se zmenší **2x**.

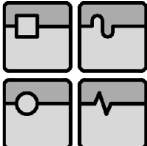
**Největší dovolená chyba (měřidla)** – je extrémní hodnota chyby daného měřidla povolená specifikacemi, normou, garantována výrobcem atd.

Největší dovolená chyba měřidel závisí zpravidla na absolutní hodnotě měřené délky.

$$\delta = \pm(A + B * L) \leq C \quad [\mu\text{m}]$$

kde L - hodnota měřené veličiny v mm (popřípadě v m),  
 A - konstanta zahrnující vliv náhodných chyb,  
 B - konstanta zahrnující vliv nevyloučených systematických chyb,  
 C - horní hranice chyby  $\delta$ .

**Korekce** – je algebraicky připočtená hodnota k nekorigovanému výsledku měření ke kompenzaci systematické chyby. Korekce má hodnotu systematické chyby, ale opačné znaménko.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 21
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

### 3. VYJADŘOVÁNÍ NEJISTOT MĚŘENÍ

Měřením získaná hodnota, tedy výsledek měření se hledané pravé hodnotě pouze blíží. Z tohoto důvodu se k výsledku měření musí uvádět informace o nejistotě měření. Informace o nejistotě měření nám s danou pravděpodobností definuje interval symetrický kolem naměřené hodnoty, ve kterém leží pravá hodnota veličiny. K určení nejistoty měření nám nestačí provést pouze jedno měření, musíme provést více měření za podmínek opakovatelnosti, abychom získali soubor hodnot měření, tzv. výběrový soubor, se kterým dále pracujeme a pomocí kterého určíme nejistotu měření.

#### 3.1 Nejistota měření [4]

Nejistotu měření lze definovat jako výsledek k vyhodnocování měření, charakterizující rozsah hodnot, v němž leží pravá hodnota měřené veličiny, obecně s danou pravděpodobností. Jednoduše řečeno nejistota měření charakterizuje rozsah naměřených hodnot okolo výsledku měření, který lze odůvodněně přiřadit k hodnotě měřené veličiny. Nejistota měření není spojována pouze s výsledky měření, ale zahrnuje také složky pocházející ze systematických vlivů, jako například složky související s měřicími přístroji, hodnotami použitých konstant, korekcemi atd., na kterých nejistota výsledků celého měření značně závisí.

##### 3.1.1. Standardní nejistota – $u$

Standardní nejistota směrodatná odchylka udávané veličiny, tzn. Je mírou nejistoty měření a představuje rozsah hodnot okolo hodnoty naměřené. Standardní nejistota se dále dělí na nejistotu typu A a typu B. Tyto nejistoty se udávají za hodnotou výsledku se znaménkem  $\pm$ , nebo samostatně.

##### 3.1.2 Standardní nejistota typu A – $u_A$

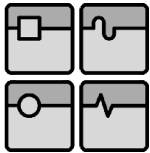
Standardní nejistoty typu A jsou tvořeny náhodnými chybami, příčiny těchto náhodných chyb se všeobecně považují za známé. Tyto nejistoty se určují statistickými metodami z opakovaných měření stejné hodnoty měřené veličiny a to za stejných podmínek tzv. podmínek opakovatelnosti. Standardní nejistoty se zpravidla s počtem opakovaných měření zmenšují. Tato nejistota je rovna výběrové směrodatné odchylce aritmetického průměru.

##### 3.1.3 Standardní nejistota typu B – $u_B$

Standardní nejistoty typu B jsou způsobeny odhadnutelnými a známými příčinami vzniku. Identifikaci a hodnocení těchto chyb provádí experimentátor. Určování těchto nejistot není jednoduché a vyžaduje značné zkušenosti, náročnější měřicí procesy a zařízení v rámci zvýšeného požadavku na přesnost vyžadují podrobný rozbor chyb, provedení takového rozboru není jednoduché. Nejistota typu B nezávisí na počtu opakovaných měření a jednotlivé složky nejistoty pocházejí z různých zdrojů.

#### 3.2 Zdroje nejistot měření

Jako zdroje nejistot měření můžeme označit všechny jevy a skutečnosti, které mohou ovlivnit neurčitost jednoznačného stanovení výsledků měření, čímž pádem vzdalují hodnotu



naměřenou od hodnoty skutečné. Na nejistoty může značně působit také výběr měřicího přístroje, zda jedná o analogový či digitální, dále potenciální vlivy narušování přenosu a úpravy signálu měřicího procesu. Nejčastějším zdrojem nejistot měření bývá například:

- neúplná definice měřené veličiny,
- nevhodný výběr přístroje,
- nevhodný výběr vzorků měření,
- nevhodný postup při měření,
- zaokrouhlování konstant a převzatých hodnot,
- neznámé nebo nekompensované vlivy prostředí,
- nedodržení podmínek opakovatelnosti měření,
- chyby lidského faktoru (obsluhy).

Některé ze zdrojů se projevují více, či méně v nejistotách vyhodnocovaných nejistotou typu A, jiné při vyhodnocování nejistotou typu B. Hodně zdrojů ale mohou být příčinou obou skupin nejistot. V tomto případě může vzniknout velmi výrazný zkreslující účinek v podobě opomenutí jedné ze složek nejistoty. Každý přístroj je zdrojem nejistoty, nevhodný přístroj má pouze větší nejistotu.

### 3.3 Udávání nejistot měření

Údaje o nejistotách měření musí obsahovat určité náležitosti, mezi které patří např. formulace a zápis výsledných hodnot, způsob výpočtu a další specifické informace pokud se podíleli na výsledku výpočtu. Výpočet nejistot je jednou z hlavních součástí zpracování výsledků měření, proto musí být nejistoty detailně specifikovány. Při udávání rozšířené nejistoty musí být uveden použitý koeficient  $k$ . Přehled nejistot pro dané měření musí zahrnovat všechny zdroje nejistot, rozptyly (směrodatné odchylky), metody výpočtů nejistot, způsob jakým byli získány odhady a také počet měření u opakovatelných měření. Výsledná nejistota udávaná u výsledku měření se zaokrouhluje na dvě platné číslice.

**Interpretace nejistoty měření** - máme-li hodnotu  $Y$  - korigovaný výsledek měření, který byl získán s nejistotou  $U$ , potom v intervalu  $\langle Y-U ; Y+U \rangle$  leží hledaná pravá hodnota měřené veličiny s danou pravděpodobností (většinou 95%)

### 3.4 Vyjadřování nejistot měření

#### 3.4.1 Standardní nejistota typu A – $u_A$ (přímé měření jedné veličiny)

Výběrový průměr  $\bar{x}$  z  $n$ -naměřených hodnot  $x_i$  určuje odhad údaje  $y$  měřené veličiny. Vypočítá se dle vztahu

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

**Směrodatná odchylka výběrových průměrů  $s(\bar{y})$**  je zvolena za standardní nejistotu typu A

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

Jestliže je počet opakovaných měření, užitý k výpočtu nejistoty menší než deset, určí se tzv. korigovaná nejistota  $u_{Ak}$  ze vztahu

$$u_{Ak} = k * s(\bar{x}) \quad (3)$$

Kde  $k$  je koeficient závislý na počtu opakovaných měření, jak je uvedeno v tab. 3.1

Tab. 3.1 – Hodnoty korekčních koeficientů pro různé počty opakovaných měření

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

### 3.4.2 Standardní nejistota typu B – $u_B$ (přímé měření jedné veličiny)

U standardní nejistoty typu B vystupují různé zdroje nejistot  $Z_j$ , tyto zdroje mohou pramenit například v závislosti na druhu použité měřicí metody, druhu měřícího přístroje, druhu způsobu vyhodnocování, nepřesných hodnot konstant a také malých zkušeností pracovníků v laboratoři. Postup vyhodnocení nejistot typu B je následující. Nejdříve se provede rozpočet nejistot, které se u daného měření vyskytují. Odhadne se  $\pm\Delta Z_{max}$  od jmenovité hodnoty tak, aby překročení tohoto intervalu bylo nepravděpodobné. V následujícím kroku se odhadne jakému rozdělení pravděpodobnosti odpovídají odchylky  $\Delta Z$  v intervalu  $\pm\Delta Z_{max}$  a určí se nejistoty  $u_z$  ze vztahu (4).

$$u_{zj} = \frac{\Delta Z_{max}}{\chi} \quad (4)$$

Hodnota  $\chi$  závisí na druhu rozdělení dle tab. 3.2

Tab. 3.2 – Hodnoty parametru  $\chi$  dle druhu rozdělení pravděpodobnosti

Normální rozdělení	Rovnoměrné rozdělení	Trojúhelníkové rozdělení
$\chi = 2$	$\chi = 1,73$	$\chi = 2,45$

Dále se určí tyto nejistoty  $u_z$  u všech zdrojů a přepočítají se na složky nejistoty měřené veličiny  $u_{zj}$ . Výsledná standardní nejistota typu B se vypočítá dle vztahu

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^m u_{zj}^2} \quad (5)$$

### 3.4.3 Kombinovaná standardní nejistota – $u_C$

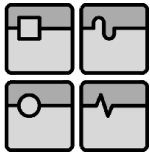
Kombinovaná standardní nejistota se určí ze vztahu

$$u = \sqrt{(u_A^2 + u_B^2)} \quad (6)$$

### 3.4.4 Rozšířená standardní nejistota – U

Standardní kombinovaná nejistota  $u$  byla určena s pravděpodobností  $P = 68\%$ , tj. pro koeficient rozšíření  $k = 1$ . Pro jinou pravděpodobnost se nejistota přepočte vynásobením koeficientem rozšíření  $k$  zvoleným podle následující tab.4. Rozšířená standardní nejistota  $U$  neboli také nejistota celková se tedy vypočítá ze vztahu

$$U = k * u \quad (7)$$

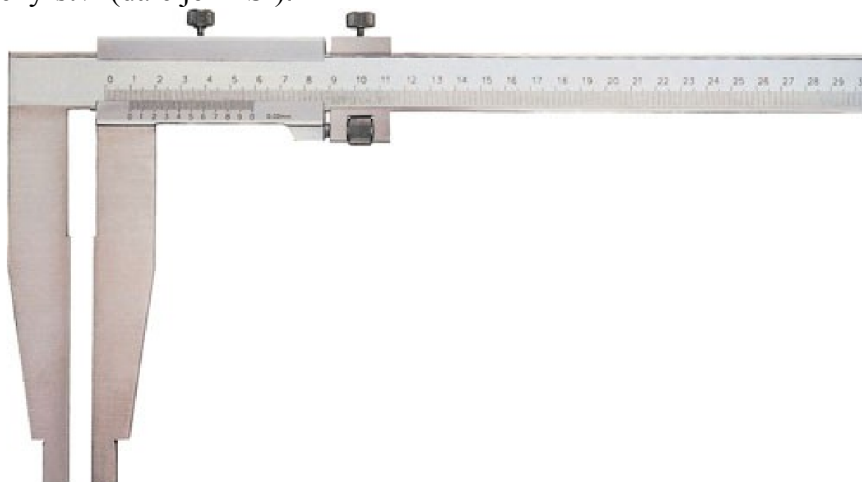


Tab. 3.3 - hodnoty koeficientu rozšíření

Koeficient rozšíření $k$	Pravděpodobnost $p$
1	68 %
2	95 %
2,58	99 %
3	99,7 %

### 3.5 Měření a výpočet nejistoty [14]

Pro snadnou ukázkou výpočtu nejistot měření bylo po domluvě s vedoucím práce provedeno měření, které slouží jako podklad pro demonstrativní výpočet nejistoty měření. Pro demonstrativní měření postačila plocha pevného ramena analogového dílenského posuvného měřidla z důvodu toho, že rameno má broušenou plochu a tudíž měřené výsledky nejsou zkreslené z důvodu hrubé drsnosti povrchu. Posuvné měřidlo bylo zapůjčeno v dílně Fakulty Strojního Inženýrství (dále jen FSI).

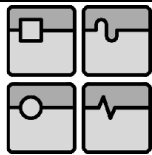


Obr. 3.1 – Analogové dílenské posuvné měřidlo

Jako měřidlo byl zvolen analogový třmenový mikrometr SOMET. Rozsah měření tohoto mikrometru je 0-25 mm a rozlišitelnost mikrometru je 0,01 mm.



Obr. 3.2 – Analogový třmenový mikrometr SOMET



Mikrometr i posuvné měřidlo jsou vyrobené z oceli. Průměrná hodnota koeficientu teplotní roztažnosti  $\alpha = 11,5 \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ .

Teploty posuvného měřidla a mikrometru při měření nebyly přesně stejné. Velikost teplotního rozdílu je dána přenosem tělesné teploty, dobou temperování a dalšími rušivými vlivy. V tomto případě uvažujeme, že maximální rozdíl teplot nepřesáhl hodnotu  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Předpokládáme rovnoměrné (obdélníkové) rozdělení s mezní hodnotou  $\Delta t = 2^\circ\text{C}$ .

Koeficienty teplotní roztažnosti posuvného měřidla a mikrometru nejsou přesně stejné. V tomto případě uvažujeme, že maximální rozdíl koeficientů teplotní roztažnosti nepřesáhl hodnotu  $\pm 2 \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ . Předpokládáme rovnoměrné (obdélníkové) rozdělení s mezní hodnotou  $\Delta\alpha = 2 \mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ .

Mezní hodnota odchylky průměrné teploty koncové měřky a mikrometru od referenční teploty  $20^\circ\text{C}$  při měření byla  $\Delta t_{20} = 2^\circ\text{C}$ .

**Jednotky** - z praktického hlediska používáme následující jednotky:

Jmenovitá délka	[m]
Nejistota délky	[ $\mu\text{m}$ ]
Teplota, rozdíl teplot, nejistota teploty	[ $^\circ\text{C}$ ]
Koeficient teplotní roztažnosti, jeho rozdíl, nejistota	[ $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ ]

### 3.5.1 Postup při měření

Při měření třmenovým mikrometrem se musí dodržet následující postup:

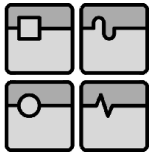
- Kontrola mikrometru - při dosednutí dotyku mikrometru k sobě se musí nulový bod mikrometrické stupnice shodovat s nulovým bodem stupnice na bubínku. Pokud tomu tak není odchylku je nutno upravit pomocí seřizovacího klíče tak, že klíčkem natočíme stupnici tak, aby se nulový bod shodoval. Mikrometrický šroub nesmí mít vůli, vůli odstraníme přitážením matice uvnitř bubínku.
- Měření - měřící plochu pevného dotyku mikrometru přiložíme k povrchu měřené součásti a pohyblivý dotek přestavíme ploše protějšší. Pomocí rychlo posuvu můžeme pohyblivou ploškou dojet k součásti, potom dojíždíme zařízení pro vyvození konstantní měřící síly tzv. řehtačky, která zabezpečuje optimální sílu v dotyku.
- Odečtení hodnoty - jeden dílek na bubínku mikrometru má hodnotu  $10 \mu\text{m}$ . Při odečítání se tento dílek pomyslně rozdělí na deset stejných menších dílků hodnota se odečte s rozlišením  $\pm 1 \mu\text{m}$ . Budeme předpokládat rovnoměrné (obdélníkové) rozdělení s mezní hodnotou  $\Delta M = 1 \mu\text{m}$ .

### 3.5.2 Měření

Jmenovitý rozměr (šířka pevného ramena analogového dílenského posuvného měřidla) je  $6 \text{ mm}$ . Při opakovaném měření byl pozorován rozptyl naměřených hodnot. Naměřené hodnoty jsou zaznamenané v následující tabulce [mm]:

Tab. 3.4 - Tabulka naměřených hodnot

6,002	6,006	6,005	6,004	6,005	6,002	6,001	6,002	6,003	6,000
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------



Obr. 3.3 – Měření pevného ramena analogového dílenského posuvného měřidla

### 3.5.3 Výpočet nejistoty

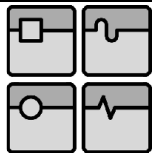
1) Příspěvek k výsledné nejistotě vlivem naměřených hodnot - nejistota typu A		
veličina	výpočetní vztah	dosazení a výsledek
Směrodatná odchylka	<i>Kalkulátor se statistickými funkcemi</i>	$s = 1,944 \mu\text{m}$
Nejistota typu A	$u_A = \frac{s}{\sqrt{n}}$	$= \frac{1,944}{\sqrt{10}} = \mathbf{0,615 \mu\text{m}}$

2) Příspěvek k výsledné nejistotě vlivem rozlišovací schopnosti mikrometru		
veličina	výpočetní vztah	dosazení a výsledek
Standardní nejistota vlivem rozlišovací schopnosti měřidla	$u_M = \frac{\Delta M}{\sqrt{3}}$ (rovnoměrné rozd.)	$= \frac{1}{\sqrt{3}} = \mathbf{0,577 \mu\text{m}}$

3) Příspěvek k výsledné nejistotě vlivem teplotní roztažnosti		
veličina	výpočetní vztah	dosazení a výsledek
Standardní nejistota délky vlivem teplotní roztažnosti	$u_{Lt} = \sqrt{(L * \alpha * u_{\Delta t})^2 + (L * u_{\Delta t_{20}} * u_{\Delta \alpha})^2}$	
	$u_{Lt} = \sqrt{(0,0796)^2 + (0,00799)^2} = \mathbf{0,08 \mu\text{m}}$	

4) Příspěvek k výsledné nejistotě vlivem rozlišovací schopnosti mikrometru		
veličina	výpočetní vztah	dosazení a výsledek
Nejistota typu B	$u_B = \sqrt{u_M^2 + u_{Lt}^2}$	$u_B = \sqrt{0,577^2 + 0,08^2} = \mathbf{0,583 \mu\text{m}}$

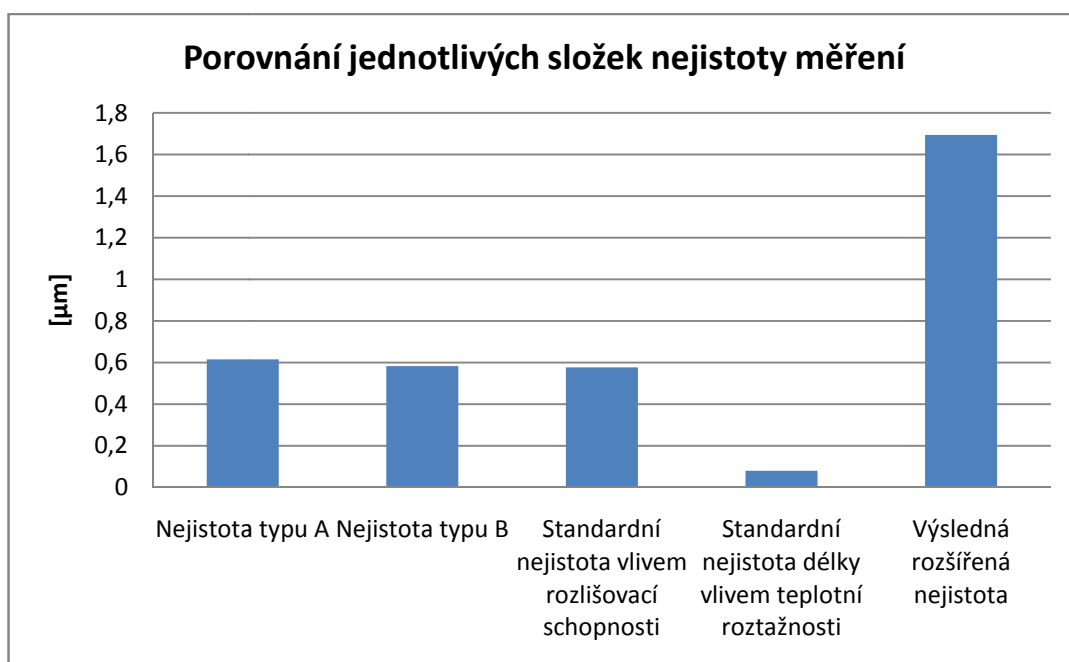
5) Výsledná kombinovaná standardní nejistota		
veličina	výpočetní vztah	
Kombinovaná standardní nejistota	$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$	
	$= \sqrt{0,615^2 + 0,583^2} = \mathbf{0,847 \mu\text{m}}$	

**6) Výsledná rozšířená nejistota.  $k=2$  pro pravděpodobnost  $p = 95\%$** 

veličina	výpočetní vztah	dosazení a výsledek
Výsledná rozšířená nejistota	$U = u_c * k$	$= 0,847 * 2 = 1,694 \mu\text{m}$

**7) Zaokrouhlená výsledná rozšířená nejistota**

veličina	výpočetní vztah
Zaokrouhlená výsledná rozšířená nejistota	$U = 1,7 \mu\text{m}$



Obr. 3.4 – Graf porovnání jednotlivých složek nejistoty měření

Pomocí výpočetních vztahů jsem z naměřených dat byla vypočtena nejistota typu A, standardní nejistotu a standardní nejistotu délky vlivem teplotní roztažnosti. Vzhledem k malé velikosti měřené délky (6 mm) je znát, že příspěvek od standardní nejistoty délky vlivem teplotní roztažnosti není nikterak markantní, kdyby jsme jej zanedbali výsledná nejistota by vyšla skoro stejná. Z těchto tří nejistot byla dle vzorce (6) vypočtena výsledná kombinovaná nejistota, která vyšla menší než rozlišitelnost hodnot ve kterých jsem měření zaznamenával. Vynásobením koeficientu rozšíření byla vypočtena výsledná rozšířená nejistota.

## 4. HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI KONTROLNÍCH PROCESŮ DLE MSA [5]

Na začátek kapitoly je nutné uvést rozdíl mezi měřením a kontrolou měření. Měřením měříme neznámou hodnotu v dané nejistotě měření. Kontrolou zjišťujeme, zdali sedí naměřená hodnota s hodnotou na výkrese v dané toleranci, dle požadavků konstruktéra.

### 4.1. MSA

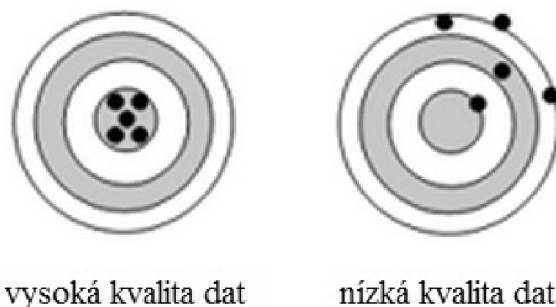
MSA (Measurement system analysis) v českém překladu analýza systému měření (dále jen MSA) je nutný požadavek při vyhodnocování způsobilosti při sběru dat. MSA se uplatňuje převážně ve velkosériové a hromadné výrobě, napomáhá k zabezpečení efektivnosti výroby.

Přidaná hodnota z používání postupů založených na analýze dat je značnou mírou závislá na kvalitě použitých naměřených dat. Když je kvalita naměřených dat nízká, přínos z daného postupu bude taktéž malý. Podobně platí, že při vysoké kvalitě dat bude pravděpodobně i vysoký přínos. Aby byla zaručená efektivita postupu založeného na analýze dat, je třeba zaměřit se na kvalitu těchto dat. Nejčastějším z důvodů vzniku dat nízké kvality je jejich velká variabilita. Kvalita naměřených dat je definována statistickými vlastnostmi měření získaných ze systému měření. Z tohoto důvodu je nezbytně nutné mít spolehlivou znalost daného systému měření, která je potřeba pro účelné řízení kvality procesu a produktu.

Požadavky na analýzu systému měření jsou založeny na závazných a doporučených předpisech využívaných v automobilového průmyslu. Materiál z kterého čerpám informace použitých v této kapitole (Analýza Systému Měření) je vypracován pracovní skupinou pro MSA zastoupena předními odborníky z třech velkých automobilových výrobců v USA a to Daimler Chrysler Corporation, General Motors Corporation a Ford Motor Company.

### 4.2. Kvalita naměřených dat

Kvalita naměřených dat je dána statistickými vlastnostmi násobných měření získaných ze systému měření, který pracuje za stejných podmínek. Například je možné uvést systém měření, který pracuje za stejných podmínek k získání několika měření. Když jsou všechna měření seskupena kolem skutečné hodnoty, o kvalitě dat můžeme říct, že je vysoká. Pokud je některé měření, nebo všechna měření výrazně vzdáleny od pravé hodnoty, v tomto případě je kvalita dat nízká. Kvalita dat nám říká jak je střední odhad blízko skutečné hodnotě a jak velké je rozptýlení.



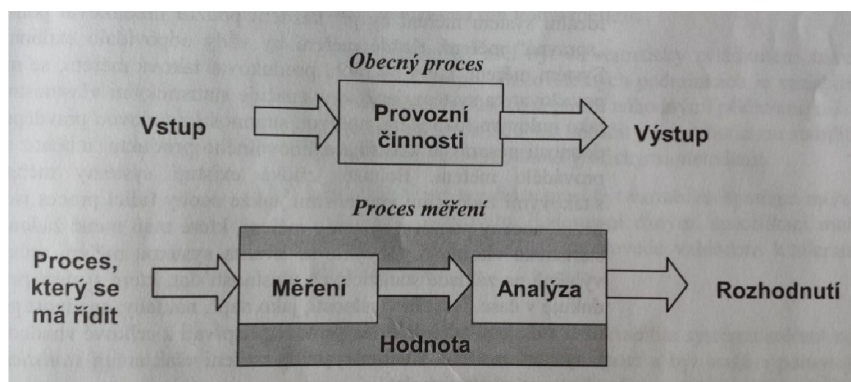
Obr. 4.1 – Kvalita naměřených dat

Statickými charakteristikami, které se ve většině případů používají k posuzování kvality dat jsou strannost a rozptyl systému měření. Strannost je dána polohou dat vůči pravé hodnotě a rozptyl popisuje rozptýlení dat.

Nežádoucí je získání dat nízké kvality. Nejčastějším důvodem vzniku dat nízké kvality je jejich velká variabilita. Značný podíl na této variabilitě v souboru měření může tvořit interakce mezi prostředím a systémem měření. Například systémy měření mohou být citlivé na okolní teplotu, jelikož s měnící se teplotou se značně může ovlivnit výsledek měření. Dalším příkladem je rozptýlení měření. Například systém pro měření objemu kapaliny v nádrži, s měnící se okolní teplotou a objemem může snadno mezi naměřenými daty vzniknout větší variabilita. V případě, že interakce způsobuje velkou variabilitu, nemusí být systém měření vhodný pro analyzování daného procesu.

### 4.3. Proces kontroly

Kontrolou se zjišťuje, jestli se rozměr nachází v toleranci s dostatečnou spolehlivostí. Pro efektivní řízení měřicího procesu, ale také samotného výrobního procesu je potřeba vědět co by měl proces dělat, co se může v procesu pokazit a co proces skutečně dělá. Co by měl proces dělat definují technické požadavky a specifikace, co se může v procesu pokazit definují rizika a co proces skutečně dělá zjistíme experimentálním šetřením. Znalost procesu před jeho kontrolou a hodnocením je nezbytně nutná pro získání pravdivých informací a dat. Proces kontroly zahrnuje měření, jeho vyhodnocení s danou nejistotou a statistické posouzení o způsobilosti procesu kontroly, který nám říká, zda-li je proces ve stavu stabilním či nestabilním.

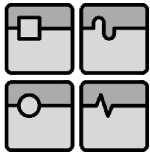


Obr. 4.2 – Proces měření

Na proces kontroly lze aplikovat všechny možné řídicí, statistické a logické metody regulace procesů. Z toho vyplývá, že v prvním kroku je nutné identifikovat požadavky na proces kontroly, následně zajistit vhodná zařízení k měření zahrnující jejich správnou obsluhu, správnou interpretaci a analýza dat které jsou získány z měření. Za těchto předpokladů je možné měřicí proces efektivně monitorovat, řídit a regulovat.

### 4.4. Variabilita procesu měření

Podobně jako všechny procesy je i proces měření ovlivněn náhodnými i systematickými zdroji variability. Pro řízení variability procesu se identifikují všechny možné zdroje variability a následně se eliminují, když to není možné tak se intenzivně monitorují.



U většiny procesů se celková variabilita procesu popisuje nejčastěji normálním rozdělením. Normální rozdělení předpokládá standardní metody analyzování systému měření. Variabilita procesu měření = rozpětí procesu měření



Obr. 4.3 – Znaky variability procesu měření

Šíři vyjádříme pomocí směrodatné odchylky s určitou pravděpodobností takto:

$$\pm 1 \quad p = 68\%, \quad \pm 2 \quad p = 95\%, \quad \pm 3 \quad p = 99,7\%.$$

## 4.5. Variabilita

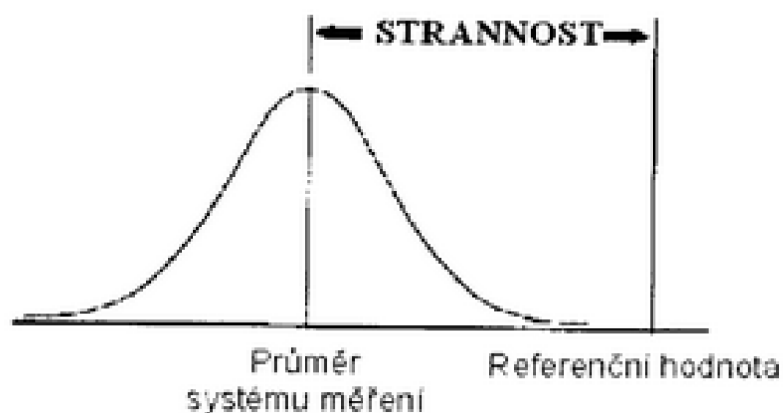
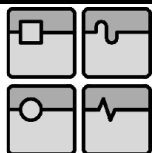
### 4.5.1. Přesnost

Je těsnost shody mezi naměřenou hodnotou a pravou hodnotou měřené veličiny. Pojem přesnost měření není veličinou ani není dán číselnou hodnotou veličiny, nedá se kvantifikovat. **Jedná se o kvalitativní pojem.** K základním charakteristikám přesnosti měřidla patří rozlišitelnost a největší dovolená chyba.

### 4.5.2. Strannost

Strannost je rozdíl mezi pravou hodnotou a pozorovanou průměrnou hodnotou měření, které jsou provedeny na tomtéž dílu. Jedná se o míru systematické chyby systému měření. Strannost přispívá k celkové chybě tvořené všemi zdroji variability, známých nebo neznámých, jejichž příspěvky k celkové chybě mají tendenci důsledně a podle očekávání vyrovnávat všechny výsledky opakovaných aplikací téhož procesu měření v čase měření.

Možnými příčinami nadměrné strannosti mohou být překročené konfirmační lhůty přístrojů, opotřebený přístroj nebo přípravek, opotřebený etalon, nesprávná kalibrace nebo použití etalonu, chyba linearity, nevhodné měřidlo pro danou aplikaci, měření nesprávného znaku, atd. Strannost souvisí se systematickou chybou. Strannost chybu eliminujeme pomocí korekce.

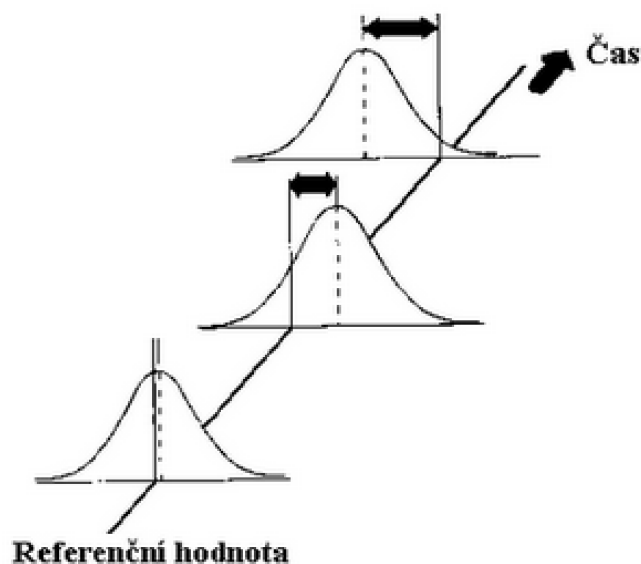


Obr. 4.4 – Strannost

#### 4.5.3. Stabilita

Stabilita (nebo drift) je celková variabilita výsledků měření, získaných systémem měření pro stejný hlavní etalon nebo díly, pokud se provádí měření jednoho znaku v dostatečně dlouhém časovém úseku. Z toho vyplývá, že stabilita je změna strannosti v čase.

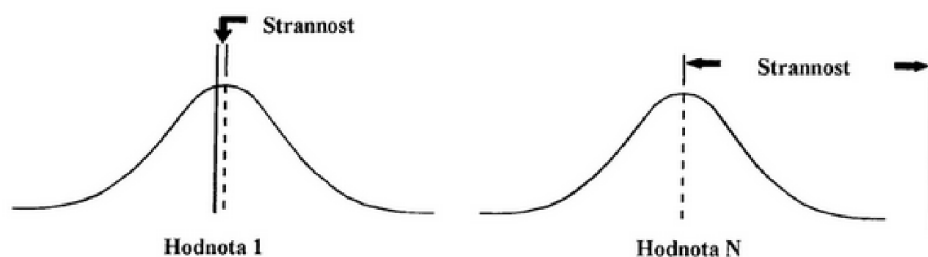
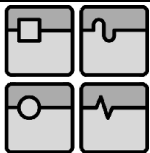
Možnými příčinami nestability jsou dlouhé intervaly mezi kalibracemi přístroje, opotřebený přístroj nebo přípravek, stárnutí nebo zastarání, nesprávná údržba přístroje, opotřebený etalon, nesprávná kalibrace nebo použití etalonu, deformace měřidla, chyba použité konstanty, odlišná metoda měření, atd.



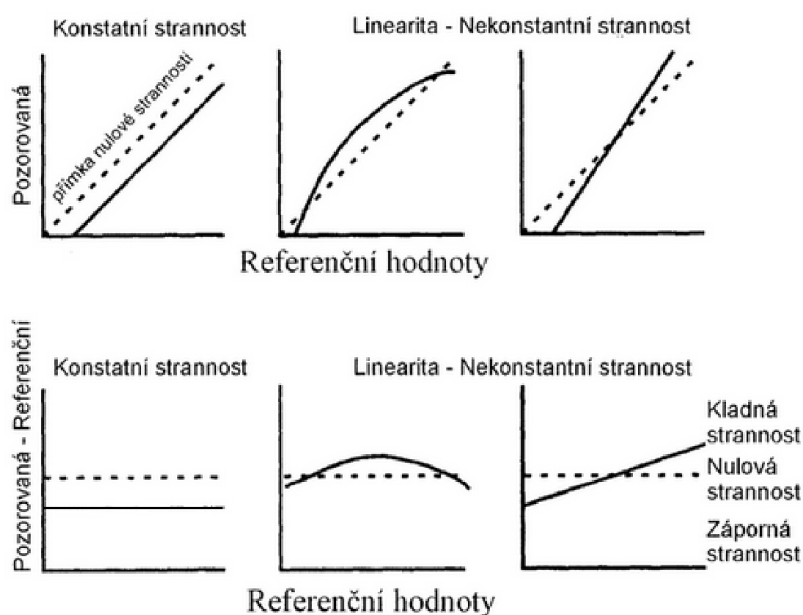
Obr. 4.5 – Stabilita

#### 4.5.4. Linearita

Rozdíl strannosti v očekávaném pracovním (měřicím) rozsahu zařízení se nazývá linearita. Linearitu lze považovat za změnu strannosti vzhledem v rozsahu měření. Možnými příčinami chyb linearity jsou příčiny vesměs totožné jako v případě stability.



Nutno poznamenat, že nepřijatelná linearita může mít řadu podob. Nepředpokládá se konstantní strannost.



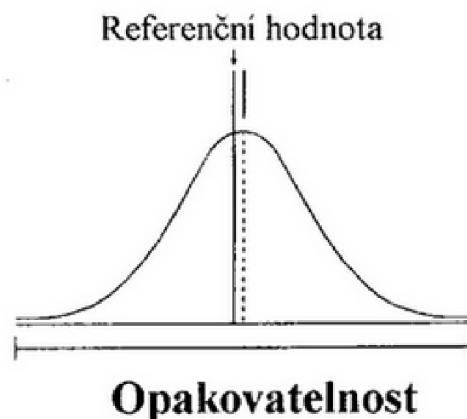
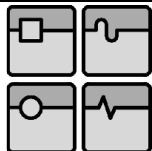
Obr. 4.6 - Linearita

## 4.6. Opakovatelnost a reprodukovatelnost

### 4.6.1. Opakovatelnost

Běžně se označuje jako variabilita „operátora“. Opakovatelnost je variabilita měření získaných jedním měřicím přístrojem, který byl použit několikrát stejným operátorem pro měření identického znaku na stejném dílu. Toto je inherentní variabilita nebo způsobnost samotného zařízení. Ve skutečnosti je opakovatelnost rozptylem vyvolaným náhodnými příčinami (náhodnými chybami) v po sobě následujících zkouškách realizovaných za definovaných podmínek měření. Nejlepším výrazem pro opakovatelnost je variabilita *uvnitř* systému, kdy jsou stanoveny a definovány podmínky měření - stanovený díl, přístroj, etalon, metoda, obsluha, prostředí a předpoklady. Opakovatelnost charakterizujeme pomocí rozpětí nebo směrodatné odchylky. Je to charakteristika rozptýlení hodnot.

Možnou příčinou chybné opakovatelnosti je poloha dílu, povrchová úprava, konzistence výběru, oprava a opotřebení měřicího přístroje, závada měřicího přístroje, kvalita a opotřebení etalonu, variabilita nastavení, metoda měření, nedostatek zkušeností operátora, únava operátora, atd.

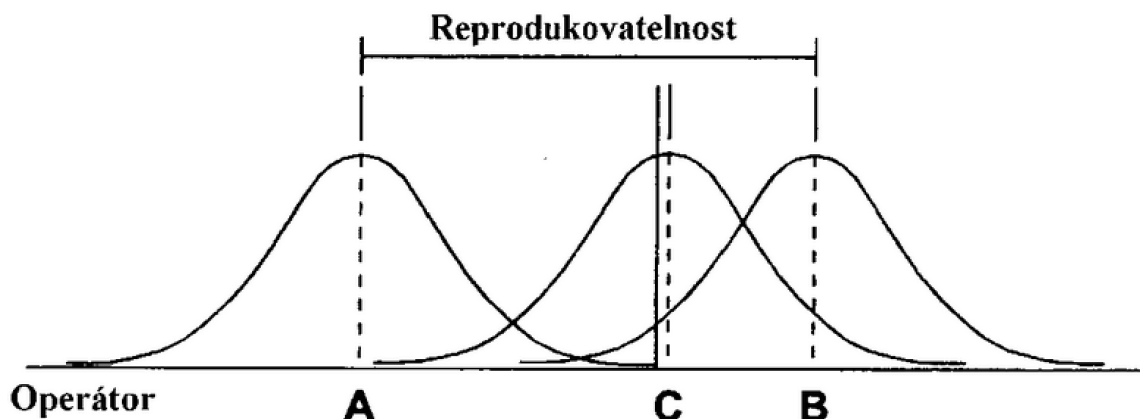


Obr. 4.7 – Opakovatelnost

#### 4.6.2. Reprodukovatelnost

Běžně se označuje jako variabilita „mezi operátory“. Reprodukovatelnost je běžně definována jako variabilita průměru měření získaných různými operátory za použití stejného měřicího přístroje při měření stejného znaku na stejném dílu. To často platí pro ruční přístroje ovlivněné odborností obsluhy. Neplatí to však pro procesy měření (tj. automatizované systémy), u nichž obsluha není hlavním zdrojem variability. Z tohoto důvodu se reprodukovatelnost nazývá průměrnou variabilitou mezi systémy nebo mezi podmínkami měření.

Potenciálními zdroji chyb reprodukovatelnosti jsou převážně rozdíly mezi operátory A, B, C atd., způsobené výcvikem, technikou, odborností a zkušenostmi.

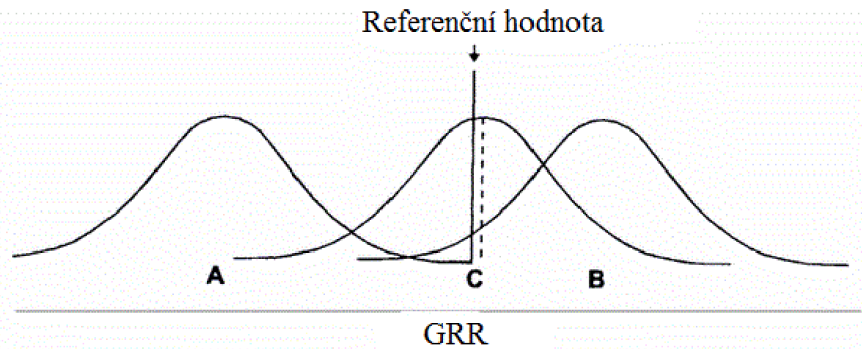
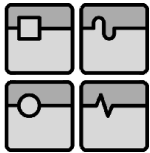


Obr. 4.8 - Reprodukovatelnost

#### 4.6.3. Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla – GRR

Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla dále jen GRR, často také R&R (z anglického Gage Repeatability and Reproducibility), je odhadem kombinované variability a opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Je to **rozptyl**, který se rovná součtu rozptylů uvnitř systému a mezi systémy.

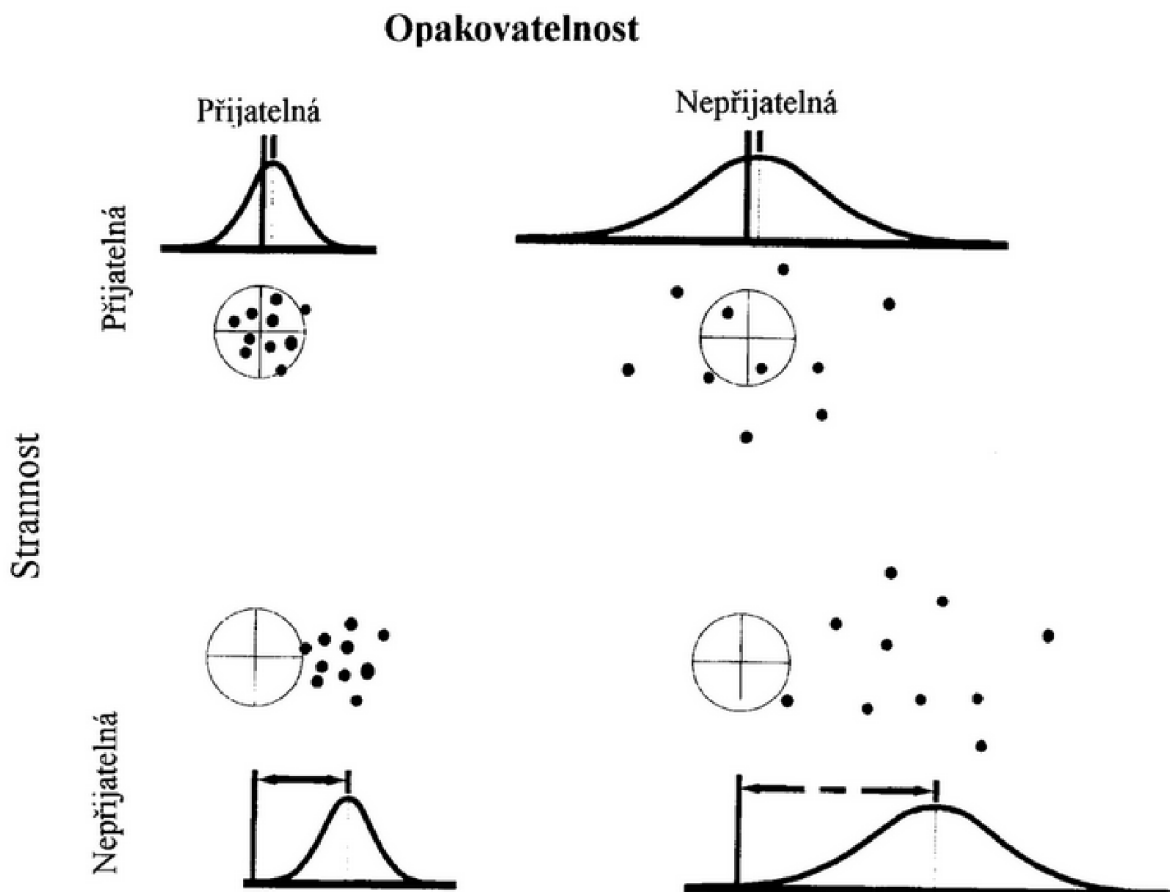
$$\sigma^2_{GRR} = \sigma^2_{reprodukovatelnost} + \sigma^2_{opakovatelnost} \quad (8)$$



Obr. 4.9 – Opakovatelnost a reprodukovatelnost

#### 4.8 Vztah mezi opakovatelností a stranností

Na následujícím obrázku je výborně znázorněna opakovatelnost, strannost a jejich vzájemný vztah. Lze vidět, že některý soubor hodnot může být přijatelný z hlediska opakovatelnosti, ale nepřijatelný z hlediska strannosti, jelikož průměrná hodnota souboru se nachází ve velké vzdálenosti od pravé hodnoty.



Obr. 4.10 – vztah mezi opakovatelností a stranností

#### 4.8 Hodnocení kontrolních procesů pomocí postupů $c_g$ , $c_{gk}$ a R&R [4]

Tyto postupy jsou založené na sledování měřidel v čase, sledované měřidlo se kontroluje v daném časovém okamžiku, ve kterém se vyhodnotí statistické charakteristiky naměřených dat, porovnají se s charakteristikami z jiných okamžiků a provede se grafické vyjádření. Hodnocení grafického průběhu umožňuje odhadnout další trendy parametrů jakosti měřicího systému. Na základě tohoto principu lze upravovat kalibrační interval sledovaného měřidla.

Pomocí postupů  $c_g$ ,  $c_{gk}$  a R&R lze kvantifikovat statistické veličiny jakosti měřidla a měřicího procesu. Těmito veličinami jsou strannost, opakovatelnost, reprodukovatelnost, stabilitu a linearitu.

Při hodnocení měřidla a je třeba se zabývat především rozlišovací schopností indikačního zařízení, stabilitou v čase a rozsahem statistických charakteristik. V celém systému měření existuje určitá variabilita, která ovlivňuje naměřené hodnoty. Z tohoto důvodu je třeba znát jednotlivé vlivy a jejich váhu.

Pro možnost definice a kvantifikace omezení měřicího systému je potřebné udělat analýzu vlivů, jejímž účelem je rozbor zdrojů variability. Při vlastní analýze je základní podmínkou dostatečná rozlišitelnost měřidla, která umožní detekovat a věrohodně znázorňovat změny měřeného znaku. V případě nedostatečné rozlišitelnosti je bezpodmínečně nutné použít měřidlo s větší rozlišitelností.

##### 4.8.1 Analýza kontrolního procesu pomocí postupu $c_g$ a $c_{gk}$

Tento postup slouží pro hodnocení měřidel, u kterých nedochází k ovlivňování výsledků měření obsluhou, jedná se zejména o měřicí automaty a absolutní měřidla. Tento postup posuzuje měřidlo z hlediska strannosti a opakovatelnosti.

Postup je založen na opakovaném měření kontrolního etalonu, který představuje konvenčně pravou hodnotu. Tato hodnota by měla být stejná jako průměrná hodnota výsledků měření. Předpokládá se, že náhodná veličina - výsledky měření se řídí zákonem normálního rozdělení.

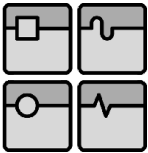
Pro aplikaci této metody je nutné dodržet následující podmínky:

- minimálně 30 opakovaných měření kontrolního etalonu,
- měření provádí jedna osoba,
- měření se realizuje jedním měřidlem,
- měření se realizuje jedním postupem,
- během měření jsou zajištěny stejné podmínky,
- měření probíhá v relativně krátkém časovém intervalu.

**Opakovatelnost** je dána vztahem:

$$c_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} \quad (9)$$

kde  $T$  - je tolerance měřeného rozměru,  
 $s_g$  - je výběrová směrodatná odchylka výsledků měření kontrolního etalonu,



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

a jsou dány vztahy

$$T = \text{HMR} - \text{DMR} \quad (10)$$

kde HMR - je horní mezní rozměr  
DMR - je dolní mezní rozměr

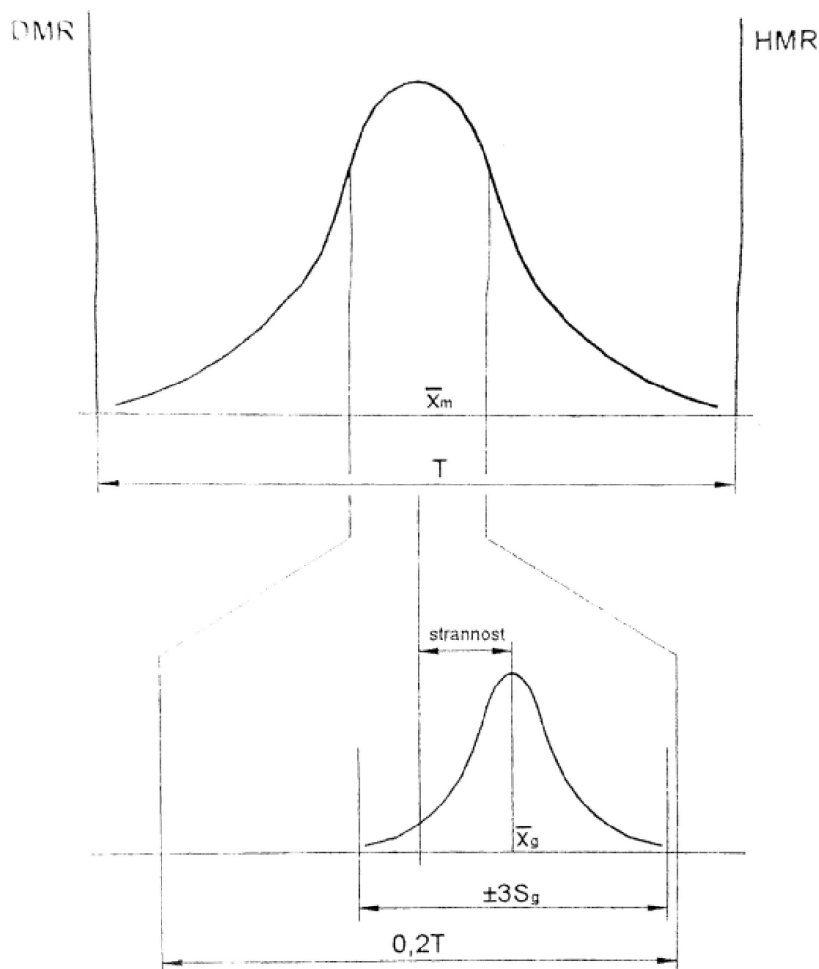
$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_g)^2} \quad (11)$$

kde n - je počet měření za podmínek opakovatelnosti,  
 $x_i$  - výsledek i-tého měření  
 $\bar{x}_g$  - je výběrový průměr výsledků měření kontrolního etalonu.

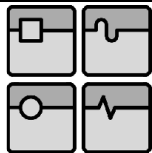
$$\bar{x}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (12)$$

Strannost je dána vztahem:

$$c_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - |\bar{x}_g - x_m|}{3 \cdot s_g} \quad (13)$$



Obr. 4.11 – Znázornění  $c_g$ ,  $c_{gk}$  vzhledem k toleranci



Indexy  $c_g$  a  $c_{gk}$  určují, zda výsledek měření kontrolního etalonu leží ve zvoleném pásmu tolerance měřidla s pravděpodobností 99,73%. Šířka tolerance měřidla je stanovena na 20% šířky tolerance měřeného rozměru.

Hodnoty těchto indexů určují způsobilost měřidla pro daný účel, ke kterému má sloužit. Následující tabulka určuje mezní hodnoty pro schválení, nebo zamítnutí měřidla na základě velikosti tolerance měřeného rozměru.

Tab. 4.1 - Mezní hodnoty postupu  $c_g$  a  $c_{gk}$ 

Tolerance	Mezní hodnoty
$T \leq 50 \mu$	$c_g, c_{gk} \geq 1$
$T \geq 50$	$c_g, c_{gk} \geq 1$

#### 4.8.2 Analýza kontrolního procesu pomocí postupu R&R [12]

R&R postup, neboli postup opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla nám umožňuje určit kolik pozorované variability procesu vzniká v důsledku variability systému měření. Celková variabilita se dále dělí na variabilitu procesu a variabilitu systému měření. Variabilita systému měření se dále dělí na variabilitu měřicího zařízení (opakovatelnost) a variabilitu operátora (reprodukovatelnost).

Pro správně provedení R&R postupu se musí vybrat součásti na měření tak, aby reprezentovali variabilitu výrobního procesu v plném rozsahu. Systém měření z pravidla je přesnější v jedné části, než v části jiné. Z tohoto důvodu je potřeba provést hodnocení v celém rozsahu variability. Je nutné, aby každý operátor provedl opakované měření. Například pět operátorů provede dvakrát měření deseti výrobků. V ideálním případě by mělo být měření úplně nestranné, například, že by sám operátor nevěděl, zdali měří danou součást poprvé nebo po druhé. R&R postup hodnotí systém měření pro spojitá data jako je tloušťka, délka, plocha atd. K vyhodnocení studie se běžně používá matematický software, který počítá celkovou variabilitu systému měření a udává jednotlivé podíly na variabilitě celkové.

Postup R&R vyhodnocuje opakovatelnost i reprodukovatelnost. K určení stupně variability měřicího systému se používá matematický software

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 38
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## ZÁVĚR

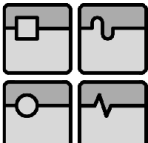
Cílem této práce bylo zrekapitulovat hodnocení kontrolních procesů včetně platné legislativy, termínů a informací o spolehlivosti měření. Práce je rozdělena do čtyř kapitol, hlavním cílem práce je kapitola poslední, která přímo shrnuje zhodnocení kontrolního procesu. Pro zaručenou pochopitelnost je ovšem nutné znát informace z kapitol předchozích. V kapitole první byl proveden teoretický rozbor státních orgánů českého metrologického systému, tyto orgány jsou seřazeny sestupně od nejnadřazenějšího jímž je Ministerstvo průmyslu a obchodu. První kapitola také objasňuje základní termíny definované v zákoně č. 505/1990 Sb. o metrologii. Tento zákon také určuje metrologickou návaznost měřidel, základní jednotky, základní pravidla pro schvalování typu měřidel, ověřování a kalibrace. Na konci kapitoly je prakticky zobrazen český metrologický systém.

Druhá kapitola obsahuje základní informace o Mezinárodním metrologickém slovníku, o jeho tvorbě a postavení v dnešním světě průmyslu. Tato kapitola obsahuje přehled základních termínů ve třech podkapitolách kterými jsou veličiny a jednotky, měření a termíny přesnosti.

Následující kapitola je o nejistotách měření a jejich vyjadřování. Jsou zde uvedeny základní teoretické informace o nejistotách měření, jejich možném výskytu, eliminaci a zdroje těchto nejistot. Samotné nejistoty se dělí na nejistotu typu A, typu B a nejistotu kombinovanou. V kapitole jsou uvedeny vzorce pro výpočet těchto nejistot. Na konci kapitoly je uveden demonstrativní případ výpočtu nejistoty měření, který je založený na experimentálním měření provedeným jen pro účely této práce.

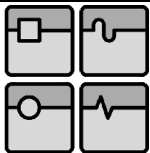
V poslední kapitole je uveden teoretický rozbor hodnocení kontrolního procesu. Pro účely jednoznačného zhodnocení kontrolního procesu je nutné znát termíny strannost, stabilita, linearita, opakovatelnost a reprodukovatelnost. Tyto termíny mají svoje podmínky, za kterých je můžeme používat a v této práci bylo použito jasného grafického vyjádření pro zaručenou pochopitelnost. Dále je na konci kapitoly teoretický přehled dvou základních metod používaných pro zhodnocení kontrolního procesu, metoda pomocí  $C_g$ ,  $C_{gk}$  a metoda R&R. Pro zhodnocení kontrolního procesu využíváme matematické statistiky, náročné výpočty počítá matematický software.

Přínos práce spočívá v tom, že vychází z platné legislativy, zákonů, vyhlášek a norem a uvádí metodiku vyjadřování přesnosti měření tak aby byla použitelná v metrologické praxi.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 39
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] zákon č. 505/1990 Sb. o metrologii
- [2] ČECH, J., PERNIKÁŘ, J., PODDANÝ, K. Strojírenská metrologie. 4. přepracované vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005.176s. ISBN 80-214-3070-2
- [3] ČSN 01 0115, Mezinárodní slovník základních termínů v metrologii. Praha: Český normalizační institut, 1996. 44s.
- [4] PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-2
- [5] Analýza systémů měření (MSA). 3. Vyd. Praha: Česká společnost pro jakost 2003. 234s. ISBN 80-02-01562-2
- [6] OŠLEJŠEK, L. Optimalizace kalibračních postupů porovnávacích a komparačních měřidel. ( disertační práce). Brno 2007
- [7] Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky [online]. Dostupné z WorldWide Web: [www.mpo.cz/](http://www.mpo.cz/) , ze dne 4.2.2014
- [8] Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví [online]. Dostupné z World Wide Web: [www.unmz.cz/](http://www.unmz.cz/) , ze dne 4.2.2014
- [9] Český metrologický institut [online]. Dostupné z World Wide Web: [www.cmi.cz/](http://www.cmi.cz/) , ze dne 5.2.2014
- [10] Český institut pro akreditaci [online]. Dostupné z World Wide Web: [www.cia.cz/](http://www.cia.cz/) , ze dne 5.2.2014
- [11] TNI 01 0115:2009, Mezinárodní metrologický slovník – Základní všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM 3. vyd.)
- [12] BEDNÁŘ, J. MSA – Analýza systému měření
- [13] PAVLÍČEK, M. Analýza systémů měření ve výrobě rotačních nástrojů. (diplomová práce). Brno 2013
- [14] Pracovní sešit pro obor délka, seminář nejistoty měření. Český metrologický institut.



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Popis
$\bar{x}$	[mm]	výběrový průměr z naměřených hodnot
$u_A$	[ $\mu\text{m}$ ]	standartní nejistota typu A
$u_{Ak}$	[ $\mu\text{m}$ ]	korigovaná nejistota typu A
$u_{zj}$	[ $\mu\text{m}$ ]	nejistota typu B u j-tého zdroje nejistot
$u_B$	[ $\mu\text{m}$ ]	standartní nejistota typu B
$u_M$	[ $\mu\text{m}$ ]	Standardní nejistota
$u_{\Delta t}$	[ $\mu\text{m}$ ]	Standardní nejistota rozdílu teplot
$u_{\Delta\alpha}$	[ $\mu\text{m}$ ]	Standardní nejistota rozdílu koeficientů teplotní roztažnosti
$u_{\Delta t 20}$	[ $\mu\text{m}$ ]	Standardní nejistota průměrné odchylky teploty od 20°C
$u_{L t}$	[ $\mu\text{m}$ ]	Standardní nejistota délky vlivem teplotní roztažnosti
$u_C$	[ $\mu\text{m}$ ]	kombinovaná standartní nejistota
$U$	[ $\mu\text{m}$ ]	rozšířená standartní nejistota
$k$	[-]	koeficient rozšíření
$\alpha$	[ $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ ]	koeficient teplotní roztažnosti
$t$	[°C]	teplota
$c_g$	[?]	vyjádření opakovatelnosti
$c_{gk}$	[?]	vyjádření strannosti
$T$	[mm]	tolerance
$s_g$	[-]	výběrová směrodatná odchylka výsledků měření kontrolního
$\bar{x}_g$	[mm]	výběrový průměr výsledků měření kontrolního etalonu
Zkratka	Jednotka	Význam
ÚNMZ	[-]	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní
ČMI	[-]	Český metrologický institut
ČIA	[-]	Český institut pro akreditaci
CRM	[-]	Certifikované referenční materiály
NMS	[-]	Národní metrologický systém
VIM	[-]	Mezinárodní metrologický slovník
ISO	[-]	Mezinárodní organizace pro standardizaci
IEC	[-]	Mezinárodní elektrotechnická komise
MSA	[-]	Analýza systému měření
GRR	[-]	Opakovatelnost a reprodukovatelnost
R&R	[-]	Opakovatelnost a reprodukovatelnost
HMR	[mm]	horní mezní rozměr
DMR	[mm]	dolní mezní rozměr

## SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1.1 – Subjekty působící v národním metrologickém systému ČR
- Obr. 1.2 – Cesty zabezpečení metrologické návaznosti v NMS
- Obr. 3.1 – Analogové dílenské posuvné měřidlo
- Obr. 3.2 – Analogový třmenový mikrometr SOMET
- Obr. 3.3 – Měření pevného ramena analogového dílenského posuvného měřidla
- Obr. 3.4 – Graf porovnání jednotlivých složek nejistoty měření
- Obr. 4.1 – Kvalita naměřených dat
- Obr. 4.2 – Proces měření
- Obr. 4.3 – Znaky variability procesu měření
- Obr. 4.4 – Strannost
- Obr. 4.5 – Stabilita
- Obr. 4.6 - Linearita
- Obr. 4.7 – Opakovatelnost
- Obr. 4.8 - Reprodukovatelnost
- Obr. 4.9 – Opakovatelnost a reprodukovatelnost
- Obr. 4.10 – vztah mezi opakovatelností a stranností
- Obr. 4.11 – Znázornění  $c_g$ ,  $c_{gk}$  vzhledem k toleranci

## SEZNAM TABULEK

- Tab. 1.1 - Základní veličiny a jednotky SI
- Tab. 3.1 – Hodnoty korekčních koeficientů pro různé počty opakovaných měření
- Tab. 3.2 – Hodnoty parametru  $\chi$  dle druhu rozdělení pravděpodobnosti
- Tab. 3.3 - hodnoty koeficientu rozšíření
- Tab. 3.4 - Tabulka naměřených hodnot
- Tab. 4.1 - Mezní hodnoty postupu  $c_g$  a  $c_{gk}$