

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava



METROLOGIE A ŘÍZENÍ KVALITY

učební text

Lenka Petřkovská

Lenka Čepová

Ostrava 2012

Recenze: doc. Ing. Dušan Štekláč, CSc.

Název: Metrologie a řízení kvality
Autor: Lenka Petřkovská, Lenka Čepová
Vydání: první, 2012
Počet stran: 142
Náklad: 40
Vydavatel a tisk: Fakulta strojní VŠB – TUO

Jazyková korektura: nebyla provedena.

Určeno pro projekt:

Operační program Vzdělávání pro konkurenceschopnost

Název: Zvyšování kompetencí studentů technických oborů prostřednictvím modulární inovace
studijních programů

Číslo: CZ.1.07/2.2.00/15.0459

Realizace: VŠB – Technická univerzita Ostrava

Tento projekt je spolufinancován z Evropského sociálního fondu a státního rozpočtu České republiky

© Lenka Petřkovská, Lenka Čepová

© VŠB – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-2771-1

Obsah:

1.	ÚVOD DO METROLOGIE.....	6
1.1.	Metrologie – věda o měření.....	6
1.1.1.	Vymezení pojmu metrologie	7
2.	ZÁKON O METROLOGII	9
2.1.	Popis zákona O metrologii	9
2.2.	Rozdělení měřidel dle zákona O metrologii	10
2.3.	Jednotky SI soustavy	12
2.4.	Instituce činné v metrologii	17
2.4.1.	Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR (MPO).....	18
2.4.2.	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví	18
2.4.3.	Český metrologický institut.....	19
2.4.4.	Autorizovaná metrologická střediska	19
2.4.5.	Střediska kalibrační služby	20
2.4.6.	Český institut pro akreditaci	20
2.4.7.	Česká metrologická společnost	21
3.	NÁRODNÍ METROLOGICKÝ SYSTÉM	22
3.1.	Popis Národního metrologického systému	22
3.2.	Kategorie Národního metrologického systému	24
4.	NÁVAZNOST MĚŘIDEL	26
4.1.	Metrologická kontrola	26
4.2.	Vymezení pojmů a definic.....	27
4.3.	Řetězec návaznosti	29
5.	CHYBY A NEJISTOTY MĚŘENÍ.....	31
5.1.	Chyby měření	31
5.1.1.	Hrubé chyby	32
5.1.2.	Systematické chyby	35
5.1.3.	Náhodné chyby	35
5.2.	Nejistoty měření	39
5.2.1.	Zdroje nejistot.....	41
5.2.2.	Výpočet nejistot.....	42
5.2.3.	Udávání nejistot.....	43
6.	ZÁKLADNÍ DRUHY MĚŘIDEL	49
6.1.	Druhy měřidel.....	49
7.	METROLOGIE DÉLKY	52
7.1.	Posuvné měřidlo	52
7.1.1.	Odečítání na 0,1 mm.....	54
7.2.	Mikrometrická měřidla.....	55
7.2.1.	Odečítání na mikrometrických stupnicích.....	57
7.3.	Kalibry.....	59
7.4.	Číselníkový úchylkoměr.....	61
7.5.	Koncové měrky	63
7.5.1.	Postup při sestavení koncových měrek.....	64
8.	METROLOGIE ROVINNÉHO ÚHLU	68
8.1.	Principy měření	69
8.2.	Úhelníky	70
8.3.	Úhlooměry	71
8.4.	Úhlové měrky	72
8.5.	Vodováhy	72
8.6.	Sinusové pravítko	73
8.7.	Profilprojektory	74
9.	KONTROLA DRSNOSTI POVRCHU	76
9.1.	Struktura povrchu	76
9.1.1.	Výškové parametry.....	77
9.1.2.	Délkové (šířkové) parametry	78

9.1.3.	Tvarové parametry.....	78
9.2.	Měření drsnosti povrchu.....	78
9.2.1.	Porovnáním s etalony drsnosti.....	78
9.2.2.	Pomocí dotykových profilometrů.....	79
9.2.3.	Metodou světelného řezu.....	79
9.2.1.	S využitím interference světla	79
10.	KONTROLA ZÁVITŮ	81
10.1.	Metody kontroly závitů	82
10.2.	Kontrola vnějších závitů.....	82
10.2.1.	Komplexní kontrola.....	82
10.2.2.	Měření (kontrola) rozteče (stoupání) P.....	82
10.2.3.	Měření (kontrola) středního průměru závitu	84
10.2.4.	Třídrátková metoda	84
10.2.5.	Kontrola (měření) vrcholového úhlu závitu	87
10.3.	Kontrola vnitřních závitů.....	89
10.3.1.	Komplexní kontrola.....	89
10.3.2.	Měření rozteče (stoupání).....	89
10.3.3.	Kontrola středního průměru	90
10.3.4.	Kontrola vrcholového uhlu.....	90
11.	KONTROLA OZUBENÝCH KOL	91
11.1.	Odchyšky ozubených kol.....	91
11.1.1.	Odchylka čelní rozteče	92
11.1.2.	Odchylka profilu.....	93
11.1.1.	Házení.....	93
11.1.2.	Odchylka boční křivky	95
11.2.	Normy týkající se měření ozubených kol	96
11.3.	Měřicí metody	96
11.4.	Konvenční zařízení na měření ozubených kol.....	97
11.4.1.	Měření a kontrola polotovaru na ozubení.....	97
11.4.2.	Měření obvodového házení ozubení.....	98
11.4.3.	Měření tloušťky zubů	100
11.4.4.	Výpočet jmenovité konstantní tloušťky a výšky zubů	101
11.4.5.	Měření míry přes zuby.....	102
12.	SOUŘADNICOVÉ MĚŘICÍ STROJE	105
12.1.	Historie CMM	106
12.2.	Popis třísouřadnicových strojů	106
12.3.	Typy konstrukcí CMM.....	109
12.4.	Základní prvky mechanického systému	112
12.4.1.	Uložení pohyblivých částí	113
12.5.	Snímací systémy	113
12.5.1.	Hlavice snímacího systému	113
12.5.2.	Dotykové snímací systémy	114
12.5.3.	Bezdotykové systémy	115
12.6.	Měřicí dotyky	117
12.7.	Řídicí systém	120
12.8.	Princip souřadnicového měření	120
12.9.	Metody měření na CMM.....	122
13.	ŘÍZENÍ KVALITY V METROLOGII	124
13.1.	Definice kvality	124
13.2.	Systém řízení měření a zařízení na monitorování měření	125
13.3.	MSA – Measurement System Analysis	127
13.3.1.	Variabilita polohy:.....	127
13.3.2.	Variabilita rozptylu:.....	129
13.3.3.	Variabilita systému:.....	131

Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:



Čas ke studiu: xx hodin

Na úvod kapitoly je uveden čas potřebný k prostudování látky. Čas je orientační a může vám sloužit jako hrubé vodítko pro rozvržení studia celého předmětu či kapitoly. Někomu se čas může zdát příliš dlouhý, někomu naopak. Jsou studenti, kteří se s touto problematikou ještě nikdy nesetkali a naopak takoví, kteří již v tomto oboru mají bohaté zkušenosti.



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

popsat ...
definovat ...
vyřešit ...

Okamžitě potom jsou uvedeny cíle, kterých máte dosáhnout po prostudování této kapitoly – konkrétní dovednosti, znalosti.



Výklad

Následuje vlastní výklad studované látky, zavedení nových pojmů, jejich vysvětlení, vše doprovázeno obrázky, tabulkami, řešenými příklady, odkazy na animace.



Shrnutí kapitoly

Na závěr kapitoly jsou zopakovány hlavní pojmy, které si v ní máte osvojit. Pokud některému z nich ještě nerozumíte, vraťte se k nim ještě jednou.



Kontrolní otázka

Pro ověření, že jste dobře a úplně látku kapitoly zvládli, máte k dispozici několik teoretických otázek.



Úkol k řešení

Protože většina teoretických pojmů tohoto předmětu má bezprostřední význam a využití v databázové praxi, jsou Vám nakonec předkládány i praktické úlohy k řešení. V nich je hlavní význam předmětu a schopnost aplikovat čerstvě nabyté znalosti při řešení reálných situací hlavním cílem předmětu.



Klíč k řešení

Výsledky zadaných příkladů i teoretických otázek výše jsou uvedeny v závěru učebnice v Klíči k řešení. Používejte je až po vlastním vyřešení úloh, jen tak si samokontrolou ověříte, že jste obsah kapitoly skutečně úplně zvládli.

1. ÚVOD DO METROLOGIE

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- Definovat pojem metrologie.
- Popsat úkoly metrologie.

Budete umět

Budete schopni:

- *Vysvětlit pojem metrologie a pochopit její funkci.*

Budete schopni

Co je to metrologie?

Slovo metrologie vzniklo z řeckého slova „metron“ (řecké metron znamená měřidlo, logos = slovo, řeč). Obecně lze tedy říci, že se jedná o vědu o měření.

Metrologie má zcela zásadní význam v celé řadě lidských činností. Tyto činnosti souvisejí se základními funkcemi lidské společnosti a s jejími potřebami jejím dalším rozvojem. Je také vědní disciplínou nezbytnou pro ostatní vědní disciplíny, výzkum a vývoj, produkci, realizaci produktů a trhu atd. a to jak z národního, ale také z mezinárodního pohledu.

S metrologií se setkáváme v každodenním životě i v rámci průmyslu a všech ostatních odvětvích. Běžně potřebujeme měřit:

- hmotnost a množství všeho co nakupujeme (jídlo, pohonné hmoty,...)
- je nutné měřit čas,
- přesné měření délky,
- spotřebu energií (elektrické energie, vody, plynu, ...)
- teplotu (ovzduší, těla,...)
- atd.)

1.1. Metrologie – věda o měření



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

definovat význam metrologie
popsat úkoly metrologie



Výklad

Hlavní úkoly metrologie jsou 3:

- Definovat mezinárodně uznávané jednotky měření, jako například metr.
- Realizovat jednotky měření pomocí vědeckých metod, například realizace metru s využitím laserových paprsků.
- Vytvářet řetězce návaznosti cestou stanovení a dokumentování hodnoty a přesnosti měření a přenosu těchto údajů.

Vývoj metrologie

Zásadní význam metrologie se projevuje ve vědeckém výzkumu a rozvoj samotné metrologie umožňuje vědecký výzkum. Rozšiřující se možnosti vědy rozšiřují také hranice možného a fundamentální metrologie sleduje aspekty těchto nových objevů. Toto dává základ ke vzniku stále dokonalejších nástrojů metrologie, které umožňují badatelům pokračovat v objevech. Pro metrologii je velmi důležité udržovat krok s vědou a stále se vyvíjet, protože jenom tak se mohou stát stálým partnerem průmyslu a výzkumu.

Rozvíjet se musí také oblasti vědecké, průmyslové a legální metrologie, protože i ty musí udržet krok s potřebami společnosti a průmyslu a to tak, aby zůstaly platné a užitečné.

1.1.1. Vymezení pojmu metrologie

Význam metrologie zasahuje do všech oblastí národního hospodářství. Tvzení, že bez metrologie nemohou existovat další vědy, jako jsou fyzika, chemie, ekologie atd. je dnes plně oprávněné, z historického hlediska se však může toto tvrzení jevit jako poněkud nadsazené. Pravdou je, že řada přírodních věd – a zejména jde o fyziku – zde existovala již při zformování se metrologie jako vědní disciplíny, přičemž metrologie – popř. její postupy a přístupy – byla chápána dlouho jako přirozená součást těchto přírodních věd (v daném případě fyziky). Uvědomění si metrologie jako přinejmenším významného vědního oboru de facto umocňuje postavení těchto věd. Nakonec celá moderní výroba a celé národní hospodářství metrologii využívá. Obecně lze metrologii rozdělit také do několika obecných oblastí podle toho, co se v nich řeší. Jedná se zejména o:

- problematiku veličin a jednotek,
- problematiku metod a postupů měření a zpracování výsledků měření,
- problematiku měřicích prostředků – tedy problematiku měřidel,
- problematiku vlivů lidského činitele,
- problematiku předpisovou a právní,
- problematiku základních fyzikálních konstant,
- problematiku technických a materiálových konstant.

Metrologie je věda o měření a jeho aplikaci.

K tomu je možné dodat, že metrologie zahrnuje veškeré aspekty teoretického i praktického charakteru. Ty se vztahují k měření a to bez ohledu na nejistotu těchto měření a také bez ohledu na to, v jaké oblasti vědy nebo techniky se tato měření vyskytují.



Shrnutí kapitoly

Definice dne TNI 010115

Metrologie – věda o měření a jeho aplikaci.

Kdy v poznámce k této definici je uvedeno, že metrologie zahrnuje veškeré teoretické a praktické aspekty měření, jakékoliv nejistoty měření a oboru použití.

Měření – proces experimentálního získávání jedné nebo více hodnot veličiny, které mohou být důvodně přiřazeny veličině.



Kontrolní otázka

O 1.1 Co je základním cílem metrologie?

O 1.2 Jaké jsou 3 základní úkoly metrologie?

2. ZÁKON O METROLOGII

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- Získáte znalosti o jednotlivých druzích měřidel dle zákona o metrologii.
- Naučíte se o institucích v metrologii.
- Získáte přehled o základních jednotkách SI.

Budete umět

Budete schopni:

- *Rozdělit měřidla dle zákona o metrologii.*
- *Pochopit jednotlivé instituce činné v metrologii.*
- *Určit základní jednotky SI.*

Budete schopni

Už v roce 1799 se zrodila první myšlenka metrické soustavy. Tato soustava byla založena na metru a kilogramu. V tomto roce byly vytvořeny 2 platinové referenční etalony metru a kilogramu a uloženy ve francouzském národním archivu v Paříži. Těmto artefaktům se začalo později říkat archivní metr a archivní kilogram. Francouzská akademie věd byla poté pověřena Národním shromážděním k vypracování nové soustavy jednotek, které by byly určeny pro celý svět. V roce 1946 pak členské země Metrické konvence přijaly soustavu MKSA (metr, kilogram, sekunda, ampér). Další 2 jednotky – kelvin a kandela byly do této konvence přiřazeny v roce 1954. Tato celá soustava dostala název Mezinárodní soustava jednotek SI (Le Systéme International d'Unités).

11. Generální konference pro váhy a míry (CGPM) zavedla v roce 1960 soustavu SI:

"Mezinárodní soustava jednotek SI je ucelená soustava jednotek schválených a doporučených CGPM".

2.1. Popis zákona O metrologii



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

definovat jednotlivé zákony o metrologii,
popsat jak a proč vznikaly jednotlivé zákony o metrologii.



Výklad

Prvky Národního metrologického systému, za něž nese odpovědnost stát, musí být opřeny o příslušnou právní úpravu. Současně platný zákon č. 505/1990 Sb. o metrologii byl původně koncipován podle doporučení obsažených v tehdy platném dokumentu D1 (1975) Mezinárodní organizace legální metrologie (OIML) a v podstatě odpovídal potřebám a zvláštnostem transformačního procesu od socialistické k tržní ekonomice. V návaznosti na Dohodu o přidružení ČR k EU, která nezbytně vyžadovala úpravu metrologické legislativy v ČR pro dosažení harmonizace s *acquis* EU, byl v r. 1999 zvažován další postup při její novelizaci. V tomto období (1998 - 1999) byly zvažovány dvě možnosti změny zákonné úpravy metrologie, a to buď úplně novým zákonem o metrologii s navazujícími předpisy nebo novelou zákona č. 505/1990 Sb. S ohledem na stav prací na revizi doporučení OIML D1 (vzorový zákon o metrologii) a v té době předpokládané dokončení a přijetí směrnice EU MID o měřicích přístrojích Evropským parlamentem v roce 2001, bylo nadřízenými orgány rozhodnuto řešit překlenovací období novelou zákona o metrologii, což bylo realizováno přijetím zákona č. 119/2000 Sb. s účinností od 1. 7. 2000. Cílem novely bylo především vytvoření podmínek pro harmonizaci českého právního řádu s *acquis* EU a zavedení problematiky hotově baleného zboží označeného evropskou značkou shody "e", což si vyžádalo i dílčí úpravu zákona č. 110/1997 Sb. v platném znění. Vzhledem k tomu, že šlo též o první novelizaci metrologické legislativy po rozpadu federace, byly v té době existující změny do legislativy promítnuty novelizací zákona ČNR č. 20/1993 Sb. V návaznosti na tyto zásadní právní změny byl též vydán nový prováděcí předpis k zákonu o metrologii, a to formou vyhlášky MPO č. 262/2000 Sb. o jednotnosti a správnosti měření. Právní závaznost seznamu měřidel stanovených k povinnému ověřování a podléhajících schválení typu (dříve prováděnou Výměry Úřadu o stanovených měřidlech) byla řešena vypracováním a vydáním vyhlášky MPO č. 263/2000 Sb., tzv. vyhláška o stanovených měřidlech.

V roce 2001 byl zákon o metrologii č. 505/1990 Sb. ve znění zákona č. 119/2000 Sb. novelizován podruhé. Tato novela byla vyvolána především nutností úpravy legislativního rámce pro realizaci Protokolu PECA mezi EU a ČR a jeho sektorových příloh. V rámci této novely byly uplatněny některé další dílčí úpravy reagující na nejnnutnější aktuální změny v oblasti metrologie, včetně změny zákona ČNR č. 20/1993 Sb., kterou přestává ČMI být formálně orgánem státní správy. Šlo o zpřesnění právního postavení ČMI ve vztahu k právní úpravě provedené zákonem č. 219/2000 Sb. o majetku ČR – nezbytné činnosti státní správy omezeného rozsahu jsou totiž ČMI svěřeny zákonem o metrologii tak, jak vyžaduje správní řád, takže vymezení ČMI jako orgánu státní správy se ukázalo nadbytečné. Tato novela pod číslem 137/2002 Sb. nabyla účinnosti dne 15. 3. 2002 a návazně na tuto novelu zákona byla v r. 2002 novelizována i vyhláška MPO č. 262/2000 Sb. vyhláškou č. 344/2002 Sb. s účinností od 1. 9. 2002 a vyhláška č. 263/2000 Sb. byla nahrazena vyhláškou MPO č. 345/2002 Sb. (novelizována vyhláškou MPO č. 65/2006 Sb. s účinností od 1. 4. 2006). V polovině r. 2003 byla PČR schválena novela zákona č. 22/1997 Sb. (zákon č. 226/2003 Sb. s účinností od 26. 6. 2003), kterou byla zároveň provedena změna zákona o metrologii v tom smyslu, aby některá opatření ve směru volného pohybu zboží mohla nabýt účinnosti i před vstupem ČR do EU (v podstatě přistoupením ČR k Evropskému hospodářskému prostoru).

2.2. Rozdělení měřidel dle zákona O metrologii



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

definovat jednotlivé druhy měřidel
popsat tyto měřidla.



Výklad

Účelem zákona o metrologii je úprava práv a povinností fyzických osob, které jsou podnikateli, a právnických osob a orgánů státní správy, a to v rozsahu potřebném k zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření.

Rozdělení měřidel podle zákona o metrologii. Měřidla slouží k určení hodnoty měřené veličiny. Spolu s nezbytnými pomocnými měřicími zařízeními se pro účely tohoto zákona člení na:

- **Etalony** - jsou to měřidla sloužící k realizaci a uchovávání této jednotky nebo stupnice a k jejímu přenosu na měřidla nižší přesnosti. Uchováváním etalonu se rozumí všechny úkony potřebné k zachování metrologických charakteristik etalonu ve stanovených mezích.
- **Pracovní měřidla stanovená** (častěji se používá výraz **stanovená měřidla**) - jsou měřidla, která Ministerstvo průmyslu a obchodu stanoví vyhláškou k povinnému ověřování s ohledem na jejich význam.
- **Pracovní měřidla nestanovená** (častěji se používá výraz **pracovní měřidla**) - jsou měřidla, která nejsou etalonem ani stanoveným měřidlem.
- **Certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály** - jsou to materiály nebo látky přesně stanoveného složení nebo vlastností používané zejména pro ověřování nebo kalibraci přístrojů, vyhodnocování měřících metod a kvantitativní určování vlastností materiálů.

Používání měřidel

Stanovená měřidla se mohou používat pro daný účel jen po dobu platnosti provedeného ověření. Nové ověření se však u těchto měřidel nemusí provádět v případě, že se prokazatelně přestala používat k účelům, které byla vyhlášena jako stanovená.

Český metrologický institut je oprávněn zjišťovat u uživatelů plnění povinností předkládat stanovená měřidla k ověření. Zjistí-li, že je používáno stanovené měřidlo bez platného ověření, měřidlo zaplombuje nebo zruší úřední značku.

U měřidel, pokud jsou používána za okolností, kdy nesprávným měřením mohou být významně poškozeny zájmy osob, je poškozená strana oprávněna vyžádat si jejich ověření nebo kalibraci a vydání osvědčení o výsledku.

Jednotnost a správnost pracovních měřidel zajišťuje v potřebném rozsahu jejich uživatel kalibrací, není-li pro dané měřidlo vhodnější jiný způsob či metoda.

2.3. Jednotky SI soustavy



Čas ke studiu: 3 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

definovat jednotlivé druhy měřidel
popsat tyto měřidla.



Výklad

Soustava SI jednotek je tvořena sedmi základními jednotkami. Dále se můžeme setkat s jednotkami odvozenými, které vytváření s jednotkami SI ucelený systém jednotek. V různých oborech se ale používají i další jednotky, jejichž používání bylo spolu s jednotkami SI schváleno. Některé další jednotky stojí mimo soustavu SI.

Základní jednotky SI

Tab. 1 Tabulka základních jednotek SI

Fyzikální veličina	Značka veličiny	Základní jednotka	Značka jednotky
délka	l	metr	m
hmotnost	m	kilogram	kg
čas	t	sekunda	s
elektrický proud	I	ampér	A
termodynamická teplota	T	kelvin	K
látkové množství	n	mol	mol
svítivost	I	kandela	cd

Základní jednotka je měřicí jednotka základní veličiny v dané soustavě veličin.

Každá základní jednotka SI, její definice a realizace je posupně upravována s tím, jak metrologický výzkum odhaluje množství přesnější definice a realizace jednotky. Typickým příkladem může být vývoj definice jednotky délky.

V roce 1889 byla vytvořena první definice metru, která vycházela z mezinárodního prototypu vyrobeného ze slitiny platiny a uloženého v Paříži. V roce 1960 vznikla nová definice – metr je 1650763,73 násobek vlnové délky spektrální čáry kryptonu 86. Následně v roce 1983 se zjistilo, že tato definice není dostatečná a je nutné ji změnit. Bylo tedy rozhodnuto, že metr je délka dráhy, kterou urazí světlo ve vakuu za časový interval $1/299792458$ sekundy vyjádřenou vlnovou délkou záření z helium-neonového jodem stabilizovaného laseru. Tato nová definice snížila relativní nejistotu realizace jednotky z 10^{-7} m na 10^{-11} m.

Definice základních jednotek SI

Metr – délka dráhy, kterou proběhne světlo ve vakuu za dobu $1/299\,792\,458$ sekundy.

Kilogram – hmotnost mezinárodního prototypu kilogramu uchovaného v Mezinárodním úřadě pro váhy a míry (BIPM) v Sévres.

Sekunda – doba trvání 9 192 631 770 period záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia 133.

Ampér – stálý elektrický proud, který při průchodu dvěma přímými rovnoběžnými nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu umístěnými ve vakuu ve vzdálenosti 1 metru od sebe vyvolá mezi nimi sílu 2×10^{-7} newtonu na 1 metr délky vodičů.

Kelvin – je to $1/273,16$ díl termodynamické teploty trojného bodu vody.

Mol - látkové množství soustavy, která obsahuje právě tolik elementárních jedinců (entit), kolik je atomů v 0,012 kilogramu uhlíku ^{12}C . Při udávání látkového množství je třeba elementární jedince (entity) specifikovat; mohou to být atomy, molekuly, ionty, elektrony, jiné částice nebo blíže určená seskupení částic.

Kandela - svítivost zdroje, který v daném směru vysílá monochromatické záření s kmitočtem 540×10^{12} hertzů a jehož zářivost v tomto směru je $1/683$ wattu na steradián.

Odvozené jednotky SI

Odvozená jednotka je jednotka míry odvozená veličina v dané soustavě veličin.

Odvozené jednotky SI jsou odvozeny od základních jednotek SI v souladu s fyzikální souvislostí mezi danými veličinami.

Jako příklad lze uvést odvozenou veličinu rychlosti měřenou v jednotce m/s , která je vyjádřena jako fyzikální souvislost mezi veličinou délky měřeno v jednotce m a veličinou času měřenou v jednotce s .

Tab. 2 Příklady odvozených jednotek SI

Odvozená veličina	Odvozená jednotka	Značka
plocha	čtvereční metr	m^2
objem	krychlový metr	m^3
rychlost	metr za sekundu	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
zrychlení	metr za sekundu na druhou	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
úhlová rychlost	radián za sekundu	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
úhlové zrychlení	radián za sekundu na druhou	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$
hustota	kilogram na krychlový metr	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
intenzita magnetického pole	ampér na metr	$\text{A} \cdot \text{m}^{-1}$
hustota elektrického proudu	ampér na metr čtverečný	$\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$
moment síly	newton metr	$\text{N} \cdot \text{m}$
intenzita elektrického pole	volt na metr	$\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$
měrná tepelná kapacita	joule na kilogram kelvin	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Z předcházející tabulky je patrné, že některé základní jednotky se používají u různých veličin. Odvozená jednotka může být vyjádřena různými kombinacemi základních jednotek a odvozených jednotek se zvláštním pojmenováním. V praxi se dává přednost pojmenování zvláštních jednotek a kombinací jednotek k rozlišení různých veličin se stejným rozměrem. Proto musí měřidlo uvádět jak jednotku, tak i měřenou veličinu.

Tab. 3 Odvozené jednotky SI se zvláštním pojmenováním a značkou

Odvozená veličina	Odvozená jednotka SI se zvláštním pojmenováním	Značka zvláštní značka	V jednotkách SI	V základních jednotkách SI
kmitočet	hertz	Hz		s^{-1}
síla	newton	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
tlak, mech. napětí	pascal	Pa	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
energie, práce, mn. tepla	joule	J	$N \cdot m$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
výkon, zářivý tok	watt	W	J/s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
elektrický náboj, množství elektřiny	coulomb	C		$s \cdot A$
rozdíl elektr. potenciálu, elektromotorická síla	volt	V	W/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
elektrická kapacita	farad	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
elektrický odpor	ohm	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
elektrická vodivost	siemens	S	A/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
magnetický tok	weber	Wb	$V \cdot s$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
magnetická indukce, hustota magnetického toku	tesla	T	Wb/m^2	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
indukčnost	henry	H	Wb/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
světelný tok	lumen	lm	$cd \cdot sr$	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd = cd$
rovinový úhel	radián	rad		$m \cdot m^{-1} = 1$
prostorový úhel	steradián	sr		$m^2 \cdot m^{-2} = 1$

Jednotky, které se nachází mimo SI

Tab. 4 Tabulka jednotek, které jsou mimo SI, ale jsou povoleny

Veličina	Jednotka	Značka	Hodnota v jednotkách SI
čas	minuta	min	1 min = 60 s
	hodina	h	1 h = 60 min = 3600 s
	den	d	1 d = 24 h
rovinný úhel	stupeň	°	1° = ($\pi/180$) rad
	minuta	'	1' = (1/60)° = ($\pi/10800$) rad
	vteřina	''	1'' = (1/60)' = ($\pi/648000$) rad
	nygrad*	gon	1 gon = ($\pi/200$) rad
objem	litr	l	1 l = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
hmotnost	tuna	t	1 t = 10 ³ kg

* v ČSN ISO 1000 se označení nygrad nepoužívá

Kromě jednotek SI se vyskytují i jednotky, které jsou povoleny k užívání společně s jednotkami SI a stojí mimo SI soustavu a to proto, že se široce používají nebo se používají ve specifických oborech.

Ve specifických oborech jsou povoleny k používání jednotky mimo SI soustavu.

Tab. 5 Příklad používání jednotek mimo SI, které jsou povoleny ve specifických oborech.

Veličina	Jednotka	Značka	Hodnota v jednotkách SI
délka	míle námořní		1 námořní míle = 1852 m
rychlost	uzel		1 námořní míle za hodinu = (1852/3600) m/s
hmotnost	karát		1 karát = 2x10 ⁻⁴ kg = 200 mg
lineární hustota	tex	tex	1 tex = 10 ⁻⁶ kg/m = 1 mg/m
mohutnost optických systémů	dioptrie		1 dioptrie = 1 m ⁻¹
tlak kapaliny v lidském těle	milimetry rtuti	mm Hg	1 mm Hg = 133,322 Pa
plocha	ar	a	1 a = 100 m ²
plocha	hektar	ha	1 ha = 10 ⁴ m ²
tlak	bar	bar	1 bar = 100 kPa = 10 ⁵ Pa

Předpony jednotek SI

Pro správné vyjadřování jednotek je doporučena řada předpon a předponových značek, které jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 6 Předpony jednotek SI

Činitel	Předpona		
	Název	Značka	Původ názvu
10^{24}	yotta	Y	
10^{21}	zetta	Z	
10^{18}	exa	E	
10^{15}	peta	P	
10^{12}	tera	T	teras (řec.) - nebeské znamení
10^9	giga	G	gigas (řec.) – obr
10^6	mega	M	megas (řec.) - veliký
10^3	kilo	k	chilios (řec.) - tisíc
10^2	hekto	h	hekat o (řec.) - sto
10	deka	da	dekas (řec.) - deset
10^{-1}	deci	d	decem (lat.) - deset
10^{-2}	centi	c	centum (lat.) - sto
10^{-3}	mili	m	mille (lat.) - tisíc
10^{-6}	mikro	μ	mikros (řec.) - malý
10^{-9}	nano	n	nano (it.) - trpaslík
10^{-12}	piko	p	piccolo (it.) - maličký
10^{-15}	femto	f	femton (švéd.) - patnáct
10^{-18}	atto	a	atton (švéd.) - osmnáct
10^{-21}	zepto	z	
10^{-24}	yocto	y	

Zásady pro správné používání předpon:

- Předpony se týkají mocnin deseti (a nikoli například mocnin dvou),
 - příklad: jeden kilobit představuje 1000 bitů a nikoli 1024 bitů.
- Předpony musí být psány bez mezery před značkou dané jednotky,
 - příklad: centimetr se píše jako cm a nikoli c m.
- Nelze používat kombinaci předpon,
 - příklad: 10^{-6} kg musí být napsáno jako 1 mg a nikoli 1 μ kg.
- Předponu nelze psát samostatně,
 - příklad: $109/\text{m}^3$ nelze psát jako G/m^3 .

2.4. Institute činné v metrologii



Čas ke studiu: 3 hodiny



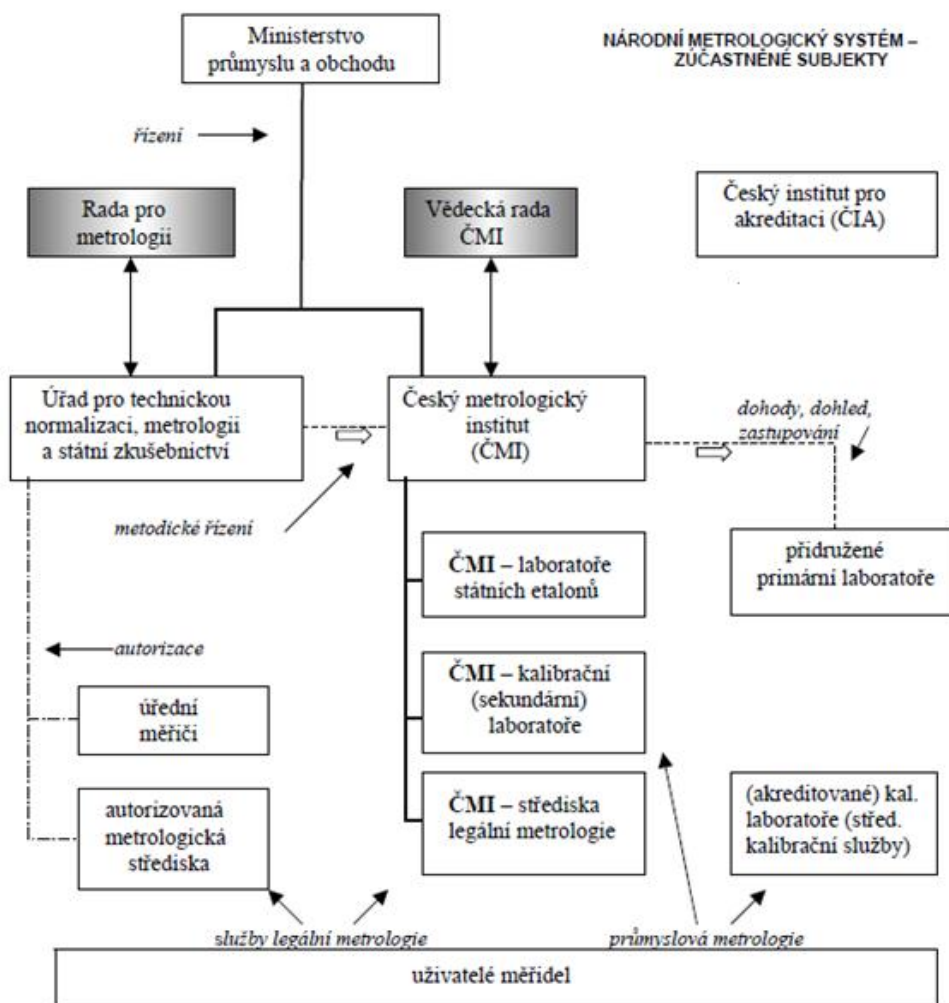
Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

definovat jednotlivé instituce činné v metrologii,
popsat činnost těchto institucí.



Výklad

Na úrovních států jsou metrologií zmocněny národní metrologické instituce. Mezinárodní koordinaci potom zajišťuje Mezinárodní organizace pro zákonnou metrologii.



Obr. 1 Vztahy mezi metrologickými institucemi v ČR

2.4.1. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR (MPO)

Úkoly Ministerstva průmyslu a obchodu jsou:

- řídí státní politiku a vypracovává koncepci rozvoje metrologie,
- vypracovává koncepci rozvoje metrologie,
- vydává předpisy,
- řídí Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚHMZ) a Český metrologický institut,
- zabezpečuje účast ČR v mezinárodních metrologických orgánech a zajišťuje nebo pověřuje Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví nebo Český metrologický institut zabezpečováním úkolů plynoucích z tohoto členství,
- rozhoduje o opravných prostředcích proti rozhodnutí Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

2.4.2. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví

Základní údaje:

- Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (dále jen Úřad), je zřízen zákonem ČNR č. 20/1993 Sb. o zabezpečení výkonu státní správy v oblasti technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví jako orgán státní správy pro předmětné činnosti.
- Úřad je organizační složkou státu v resortu Ministerstva průmyslu a obchodu („MPO“).

Hlavním posláním Úřadu je zabezpečovat především úkoly vyplývající ze zákonů České republiky upravujících technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

Z pověření MPO zajišťuje Úřad i další úkoly, např.:

- zajišťuje funkci Informačního střediska Světové obchodní organizace (WTO),
- zastupuje Českou republiku v příslušných mezinárodních orgánech a organizacích a zabezpečuje úkoly z toho vyplývající,
- připravuje návrhy na sjednání, změny a vypovězení mezinárodních veřejnoprávních smluv a koordinuje, popřípadě zabezpečuje plnění úkolů z těchto smluv vyplývajících,
- zpracovává podklady k rozhodnutí MPO o pověření (popřípadě o zrušení pověření) právnické osoby zabezpečováním tvorby a vydáváním českých technických norem a ke zveřejnění tohoto pověření ve Sbírce zákonů ČR,
- zpracovává návrhy právních předpisů z oblasti technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví.

Poradní orgány předsedy Úřadu

Pro objektivní rozhodování při zabezpečování úkolů technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví v souladu s požadavky ministerstev nebo jiných ústředních správních úřadů a hospodářské sféry zřizuje předseda Úřadu své poradní orgány.

V současné době jsou ustaveny tyto poradní orgány předsedy Úřadu:

- Komise pro sbližování technických předpisů ČR s technickými předpisy Evropských společenství,
- Rada pro technickou normalizaci,
- **Rada pro metrologii,**
- Komise pro posuzování shody.

Rada pro metrologii

Posláním Rady je napomáhat objektivnímu řízení rozvoje metrologie a optimálnímu zabezpečování jednotnosti a správnosti měřidel a měření v hospodářské sféře, státní správě a zájmových institucích.

2.4.3. Český metrologický institut

Český metrologický institut (dále též Institut nebo ČMI) je základním výkonným orgánem Českého národního metrologického systému. Zabezpečuje jednotnost a přesnost měřidel a měření ve všech oborech vědecké, technické a hospodářské činnosti. Zajišťuje především shodu realizace jednotek veličin v České republice s mezinárodně uznávanými etalony a přenos jednotek do praxe.

Činnosti Institutu

Základními okruhy činnosti jsou:

- fundamentální metrologie, rozvoj a uchovávání státních etalonů,
- rozvoj a mezinárodní porovnávání státních etalonů,
- průmyslová metrologie, zabezpečení návaznosti měření, kalibrační služba,
- legální metrologie, schvalování typů měřidel, ověřování stanovených měřidel, metrologický dozor.

K předmětu činnosti ČMI patří mimo jiné:

- uchování a technický rozvoj státních a ostatních primárních etalonů, včetně přenosu hodnoty měřících jednotek na sekundární etalony,
- uchování sekundárních etalonů nejvyšších řádů a výkon státní metrologické kontroly měřidel,
- ověřování stanovených měřidel,
- státní metrologický dozor a dohled,
- vědecká, vývojová a výzkumná činnosti v oblasti metrologie,
- kalibrace měřidel v majetku nebo v užívání právnických a fyzických osob,
- zabezpečování mezinárodní spolupráce v oblasti metrologie,
- poskytování metrologických expertiz, vydávání osvědčení a odborných posudků,
- poskytování technických metrologických výkonů,
- schvalování typu tuzemských a dovážených měřidel,
- řízení tvorby referenčních materiálů a jejich osvědčování,
- registrace subjektů, které vyrábějí nebo opravují stanovená měřidla, popřípadě provádějí jejich montáž.

2.4.4. Autorizovaná metrologická střediska

Autorizovaná metrologická střediska (AMS), úřední měřiči a registrované subjekty pro výrobu, opravu a montáž stanovených měřidel (praktická zkratka – správně „pracovní měřidla stanovená“) působí v tzv. regulované sféře metrologie vymezené zákonem o metrologii a návaznými vyhláškami. AMS provádí prvotní a následné ověřování stanovených měřidel na základě autorizace udělené ÚNMZ po prověření jejich technické způsobilosti ČMI nebo ČIA. Na udělení této autorizace není právní nárok, takže při jejím neudělení nemůže z principu jít o nějaké porušení základních lidských svobod. Při udělování autorizací je totiž třeba zvažovat míru kompromisu mezi požadavkem na jejich nezávislost při rozhodování (ideální v monopolním postavení) a kvalitou a šíří nabídky těchto činností, které jsou vynucovány zákonem (ideální v konkurenčním prostředí). Analogicky jsou úřední měřiči autorizováni ÚNMZ k provádění výkonů (např. měření úrovně hluku ve sporných případech apod.), o jejichž výsledku vydávají doklad, který má charakter veřejné listiny. Jde o činnost, která je svým charakterem

blízká tomu, co provádějí soudní znalci. Registrace subjektů má především preventivní charakter: určitou prověrkou jejich způsobilosti k daným výkonům se má předcházet případům následného zamítnutí ověření těchto měřidel ze strany ČMI či AMS. Technické požadavky a postupy zkoušení při ověřování však budou v dohledné době pregnantně popsány ve vyhláškách MPO k jednotlivým měřidlům, takže institut registrace se již zjevně do značné míry přežil. Navíc existují názory, že je tento požadavek v rozporu s evropskou legislativou (Dohoda o založení ES, svoboda usazování se, v členských zemích). Novela zákona o metrologii č. 119/2000 Sb. zavedla u vedoucích AMS požadavek prokázání kvalifikace k výkonu této činnosti – v návaznosti na to se několik subjektů včetně ČMI nechalo akreditovat jako certifikační orgán pro personál v metrologii. Historicky zákon o metrologii stále ještě vyžaduje certifikaci referenčních materiálů (RM) – k tomu byl v rámci ČMI ustaven příslušný certifikační orgán na bázi akreditační normy a ISO návodů.

2.4.5. Střediska kalibrační služby

Střediska kalibrační služby jsou organizace, které jsou Úřadem pověřeny na základě akreditace ke kalibraci měřidel pro jiné subjekty. Úředním měřením se rozumí metrologický výkon, o jehož výsledku vydává autorizovaný subjekt doklad, který má charakter veřejné listiny.

2.4.6. Český institut pro akreditaci

ČIA působí v České republice jako národní akreditační orgán. Byl založen v roce 1998 jako obecně prospěšná společnost, ve smyslu zákona č. 248/1995 Sb. o obecně prospěšných společnostech. Jedná se o soukromoprávní neziskovou organizaci. Společnost poskytuje své služby v oblasti akreditace a dozoru nad trvalým plněním požadavků na subjekty posuzování shody, v souladu s platnými právními předpisy a mezinárodně uznávanými normami.

Český institut pro akreditaci (ČIA):

- buduje a zajišťuje akreditační systém v ČR,
- provádí akreditaci zkušebních a kalibračních laboratoří,
- uděluje, odnímá nebo mění osvědčení o akreditaci, rozhoduje o jeho neudělení (pozastavení),
- zpracovává, vydává předpisy, metodické pokyny, metodické příručky z oblasti své působnosti,
- zabezpečuje a provádí posuzování žadatelů o akreditaci,
- vede registr žadatelů o akreditaci a akreditovaných míst,
- zabezpečuje a realizuje dohled nad trvalým dodržováním akreditačních kritérií atd.

Jako národní akreditační orgán České republiky zabezpečuje ČIA akreditaci:

- zkušebních laboratoří,
- zdravotnických laboratoří,
- kalibračních laboratoří,
- certifikačních orgánů provádějících certifikaci výrobků,
- certifikačních orgánů provádějících certifikaci systémů managementu,
- certifikačních orgánů provádějících certifikaci osob,
- inspekčních orgánů,
- environmentálních ověřovatelů,
- organizátorů programů zkoušení způsobilosti.

2.4.7. Česká metrologická společnost

Česká metrologická společnost je dobrovolným sdružením fyzických a právnických osob, jehož cílem je přispívat k rozvoji metrologie, měření a zkoušení. Jako samostatná organizace vznikla v roce 1990, kdy byla registrována Ministerstvem vnitra.

Hlavním posláním ČMS je zejména:

- šíření odborných znalostí v oblasti metrologie, měření a zkoušení formou seminářů, kurzů, odborných konferencí, výukou v podnicích a dalšími veřejnými akcemi, odbornými i populárními publikacemi,
- poskytování informačních, poradenských a konzultačních služeb,
- certifikace způsobilosti pracovníků pro metrologickou a zkušební činnost ve všech oborech metrologie - Českým institutem pro akreditaci o.p.s. akreditovaný certifikační orgán č. 3008,
- vydávání dokladů o kvalifikaci po ukončení rekvalifikace podle vyhlášky č. 21/1991 Sb., o bližších podmínkách zabezpečování rekvalifikace uchazečů o zaměstnání a zaměstnanců, ve znění pozdějších předpisů, na základě pověření Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR.



Shrnutí kapitoly

Veličina - vlastnost jevu tělesa nebo látky, která má velikost, jenž může být vyjádřena jako číslo a reference.

Základní veličina – veličina v konvenci zvolené podmnožině dané soustavy veličin, z níž žádná veličina podmnožiny nemůže být vyjádřena pomocí jiných veličin.

Odvozená veličina – veličina v soustavě veličin definovaná pomocí základních veličin této soustavy.

Měřicí jednotka – reálná skalární veličina, definovaná a přijatá konvencí, se kterou může být porovnávána jakákoliv jiná veličina stejného druhu vyjádřením podílu dvou veličin jako čísla.

Základní jednotka – měřicí jednotka, která je přijata konvencí pro základní veličinu.

Odvozená jednotka – měřicí jednotka pro odvozenou veličinu.



Kontrolní otázka

O 2.1 Co je nejvyšší institucí v metrologii?

O 2.2 Patří látkové množství mezi odvozené jednotky?

O 2.3 Co je účelem zákona o metrologii?

3. NÁRODNÍ METROLOGICKÝ SYSTÉM

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- Popsat jednotlivé kategorie Národního metrologického systému.
- Vysvětlit vztahy působící v rámci Národního metrologického systému.

Budete umět

Budete schopni:

- *Popsat Národní metrologický systém.*
- *Popsat jednotlivé vztahy mezi prvky Národního metrologického systému.*

Budete schopni

Náklady na měření a vážení v dnešní Evropě představují plných 6 % celkového hrubého národního produktu. Metrologie se stala přirozenou součástí našeho každodenního života. Dřevěná prkna i kávu nakupujeme podle velikosti a váhy; měříme odběr vody, elektřiny a tepla, a důsledky toho pociťujeme v našich peněženkách. Váhy v koupelně nám kazí náladu, stejně jako policie kontrolující rychlost jízdy a případné finanční postihy. Množství aktivních látek v lécích, měření krevních vzorků i účinek chirurgova laseru musí být zcela přesné, nemá-li být ohroženo zdraví pacienta. Je téměř nemožné najít něco, co by nebylo spojeno s váhou a mírou; doba slunečního svitu, měření hrudního objemu, obsah alkoholu, hmotnost dopisů, teplota v místnosti, tlak v pneumatikách,... atd. Jen pro legraci – zkuste vést rozhovor, aniž byste použili slov, odvolávajících se na váhy nebo míry.

3.1. Popis Národního metrologického systému



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

definovat Národní metrologický systém,
popsat funkci národního metrologického systému.



Výklad

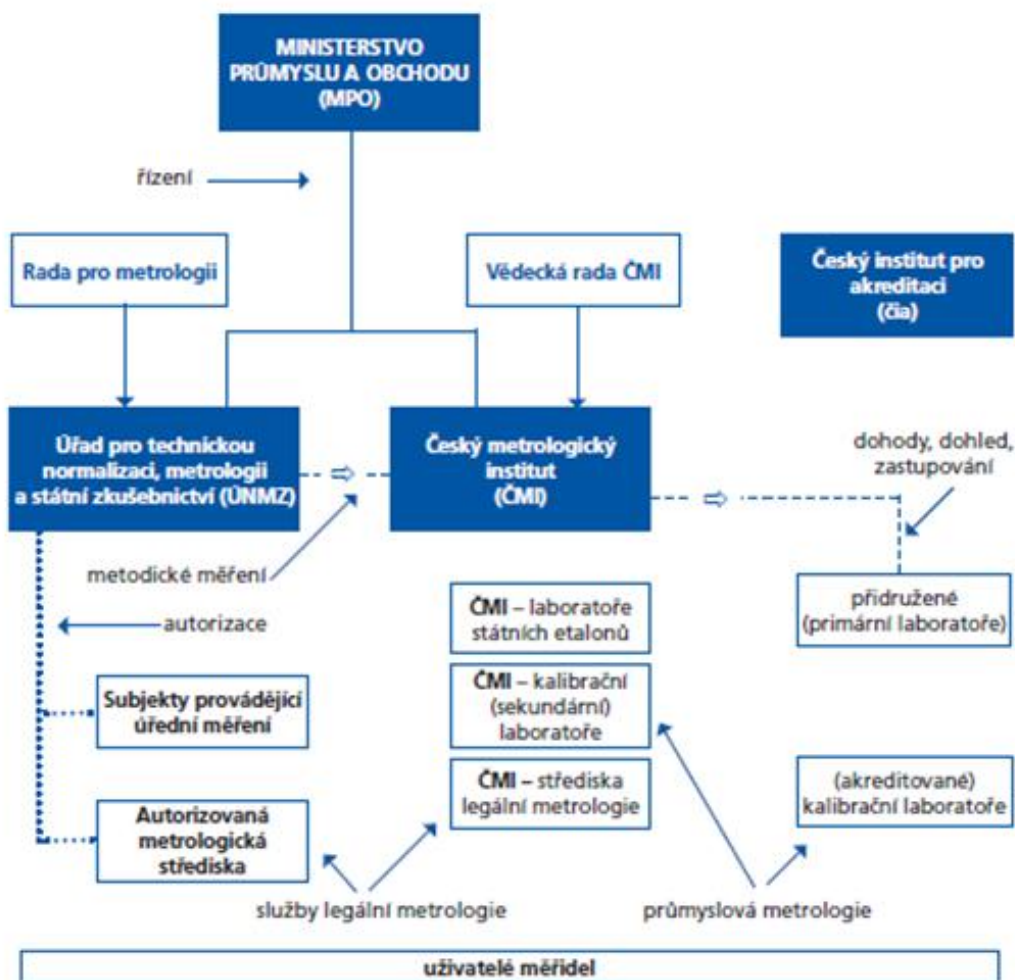
Národním metrologickým systémem (dále jen NMS) se rozumí systém, který slouží k zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření v daném státě, a to prostřednictvím soustavy technických prostředků a zařízení, jakož i technických předpisů, práv a povinností správních orgánů a právnických osob nebo podnikajících fyzických osob.

Základním prvkem NMS ČR jsou spotřebitelé a obecně veřejnost (tedy nejenom občané ČR, ale i cizí státní příslušníci, kteří se na území ČR vyskytují). Pro ně zde existuje infrastruktura výrobců a služeb a pro ně též objektivně existují hlediska veřejného zájmu, které je třeba respektovat a dodržovat.

Jako druhý významný prvek NMS ČR jsou podnikatelské subjekty. Do této části patří také výrobci a opravci měřidel, ale i subjekty, provádějící montáže měřidel. Dále sem patří také subjekty s výstupy, které nemají charakter výrobků (např. služby).

Další prvky NMS ČR se podílejí na jeho managementu, zabezpečování služeb pro dva výše zmíněné základní prvky a potřebný rozvoj metrologie a mezinárodní metrologickou spolupráci v rámci tohoto systému. Nezastupitelnou roli zde hraje stát, jehož funkce je v zásadě soustředěna jednak na tvorbu, projednávání a schvalování nutné metrologické legislativy (tedy vlastně většinou oblast legální metrologie), činnosti související s dodržováním metrologické legislativy, činnosti související se zabezpečením rozvoje metrologie v České republice a činnosti související s oblastí mezinárodní spolupráce v metrologii.

Jedním z klíčových prvků je nesporně národní metrologický institut, představovaný Českým metrologickým institutem (nebo také ČMI).



Obr. 2 Národní metrologický systém ČR

NMS zahrnuje také další důležité prvky, jako vzdělávání v oblasti metrologie, včetně sítě fungujících certifikačních orgánů pro certifikaci osob v oblasti metrologie a samozřejmě též

český národní akreditační systém, na jehož základě je možno především v oblasti užité metrologie prokazovat odbornou způsobilost kalibračních laboratoří, zkušebních laboratoří, certifikačních orgánů a inspekčních orgánů. Český národní akreditační systém má též významné postavení v oblasti subjektů, působících v legální metrologii. Řada pracovišť ČMI, která poskytují služby v oblasti metrologie obecně, a která současně pracují v legální metrologii, je totiž akreditována. Akreditace slouží vedle prověření odborné způsobilosti ze strany ČMI také jako podklad pro autorizaci subjektů, které pak pracují jako autorizovaná metrologická střediska.

3.2. Kategorie Národního metrologického systému



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

definovat kategorie Národní metrologický systém,
popsat jednotlivé kategorie Národního metrologického systému.



Výklad

Metrologie se člení do tří kategorií s různým stupněm složitosti a požadavků na přesnost:

- **Vědecká metrologie** se zabývá organizací a vývojem etalonů a jejich udržováním (nejvyšší úroveň).
- **Průmyslová metrologie** zajišťuje náležité fungování měřidel používaných v průmyslu a ve výrobních a zkušebních procesech, pro zajištění kvality života obyvatel a pro akademický výzkum.
- **Legální metrologie** se zabývá správností měření tam, kde tato měření mají vliv na průhlednost ekonomických transakcí, zvláště tam, kde je potřeba předepsaného ověřování měřidel.

Fundamentální metrologie nemá žádnou mezinárodní definici, ale obecně se tak označuje činnost s nejvyšší přesností měření v daném oboru. Fundamentální metrologii lze proto definovat jako špičkové odvětví vědecké metrologie.

Průmyslová a vědecká metrologie představují dvě ze tří kategorií metrologie. Metrologické činnosti, kalibrace, zkoušení a měření, jsou cennými vstupy pro zajištění kvality v průmyslové činnosti a kvality činností, spojených s péčí o kvalitu života. Tyto činnosti zahrnují potřebu prokazování návaznosti, která se stává stejně důležitou jako vlastní měření. Uznání metrologické kompetence na každém stupni řetězce návaznosti lze dosáhnout dohodami a ujednáními o vzájemném uznávání; například ujednáními o vzájemném uznávání CIPM MRA a ILAC MRA, a také akreditací a expertním posouzením.

Třetí kategorií metrologie je **metrologie legální**. Legální metrologie vznikla původně z potřeby zajistit poctivé obchodování, zejména v oblasti vážení a měření. Legální metrologie se primárně zabývá měřidly, která podléhají metrologické kontrole, a hlavním cílem legální

metrologie pak je zabezpečit občanům správné výsledky měření, jsou-li měřidla použita při úředních nebo obchodních transakcích.

Vedle legální metrologie existuje dále mnoho dalších oblastí legislativy, kde je měření nezbytné k posouzení shody s předpisy nebo zákony, např. letectví, zdravotnictví, stavební výroby, kontrola životního prostředí a znečištění.



Shrnutí kapitoly

Národním metrologickým systémem – se rozumí systém, který slouží k zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření v daném státě, a to prostřednictvím soustavy technických prostředků a zařízení, jakož i technických předpisů, práv a povinností správních orgánů a právnických osob nebo podnikajících fyzických osob.

Vědecká metrologie – zabývá se organizací a vývojem etalonů a jejich udržováním.

Průmyslová metrologie – zajišťuje náležité fungování měřidel používaných v průmyslu a ve výrobních a zkušebních procesech, pro zajištění kvality života obyvatel a pro akademický výzkum.

Legální metrologie – zabývá se správností měření tam, kde tato měření mají vliv na průhlednost ekonomických transakcí, zvláště tam, kde je potřeba předepsaného ověřování měřidel.

Fundamentální metrologií – se obecně se tak označuje činnost s nejvyšší přesností měření v daném oboru.



Kontrolní otázka

- O 3.1 Co tvoří vrchol Národního metrologického systému ČR z organizačního hlediska?
- O 3.2 Co je úkolem Národního metrologického systému?
- O 3.3 Co je to Průmyslová metrologie?
- O 3.4 Vyjmenuj 3 základní oblasti Národního metrologického systému?

4. NÁVAZNOST MĚŘIDEL

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- Rozeznat rozdíl mezi kalibrací a ověřením měřidel.
- Základní terminologii k této problematice.
- Vysvětlit pojem řetězce návaznosti.

Budete umět

Budete schopni:

- *Rozeznat jednotlivé druhy etalonů.*
- *Popsat řetězec návaznosti*

Budete schopni

V Evropě je v současné době základem pro harmonizaci měřidel podléhajících metrologické kontrole směrnice 2009/34/ES, která obsahuje horizontální požadavky na všechny kategorie měřidel, a dále směrnice specifické pro jednotlivé druhy měřidel publikované od roku 1971. Členské státy, pro něž tyto směrnice platí, nemusely své stávající národní předpisy rušit. Měřidla, která získají EHS schválení typu (ne všechna měřidla) a prvotní EHS ověření, mohou být uváděna na trh a užívána ve všech členských státech bez dalších zkoušek nebo schvalování typu.

4.1. Metrologická kontrola



Čas ke studiu: 0,5 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

definovat pojem státní metrologické kontroly
popsat proces metrologické kontroly



Výklad

Preventivní opatření jsou přijímána před uvedením měřidla na trh, to znamená, že mnohá měřidla musí úspěšně projít přezkoušením typu a všechna musí být ověřena. Výrobce obdrží certifikát přezkoušení typu od kompetentního subjektu pověřeného členským státem v případě, že typ měřidla splňuje všechny příslušné požadavky právních předpisů. U sériově vyráběného měřidla je ověřením zaručeno, že každý přístroj se shoduje s typem a splňuje požadavky dané při procesu schvalování.

Dozorem nad trhem je kontrolní opatření za účelem zjištění, zda přístroj uvedený na trh splňuje právní předpisy. V případě přístrojů, které jsou používány, se provádějí kontroly nebo opakovaná ověření, aby bylo zaručeno, že přístroj je neustále v souladu s právními předpisy. Kritéria užívaná při těchto kontrolách musí být podložena národními nebo mezinárodními normami. Povinná metrologická kontrola měřidel, jak je uvedena ve směrnici, je ponechána v pravomoci jednotlivých členských států. Následná ověřování, metrologické kontroly a lhůty platnosti ověření dosud harmonizovány nejsou a každý stát si je stanoví vlastními legislativními předpisy. Členské státy mohou stanovit legislativní požadavky na měřidla, která nejsou uvedena ve směrnících NAWI nebo MID.

4.2. Vymezení pojmů a definic



Čas ke studiu: 1,5 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

definovat důležité pojmy vyskytující se v problematice etalonů a návaznosti
popsat rozdíly mezi jednotlivými druhy etalonů



Výklad

Návaznost

je vlastnost výsledku měření nebo hodnoty etalonu, kterou může být určen vztah k uvedeným referencím, zpravidla státním nebo mezinárodním etalonům, přes nepřerušovaný řetězec porovnání (řetězec návaznosti), jejichž nejistoty jsou uvedeny.

Pozn.: Pro průmysl v Evropě se zajišťuje návaznost na nejvyšší mezinárodní úrovni především využíváním akreditovaných evropských laboratoří a národních metrologických institutů.

Kalibrace

Základním prostředkem při zajišťování návaznosti měření je kalibrace etalonů nižších řádů a měřidel. Tato kalibrace zahrnuje určení metrologických charakteristik kalibrovaného přístroje.

Pozn.: Měřidla je třeba kalibrovat proto, aby se zajistila konzistence údajů přístroje s jiným měřením a aby se zajistila správnost údajů uváděných přístrojem a aby bylo známo, s jakou nejistotou údaje měřidla je třeba počítat. Výsledek kalibrace umožní buď přiřazení hodnot měřených veličin k indikovaným hodnotám, nebo stanovení korekcí vůči indikovaným hodnotám. Kalibrace může rovněž určit další metrologické vlastnosti, jako je účinek ovlivňujících veličin. Výsledek kalibrace se zaznamená v dokumentu, který se někdy nazývá kalibrační list (někdy též certifikát nebo zpráva o kalibraci).

Etalonem

se rozumí hmotná míra, měřidlo, přístroj nebo systém, které jsou určeny k definování, realizování, uchovávání nebo reprodukování jednotky nebo jedné či několika hodnot veličiny a slouží jako vzor, reference (například prototyp 1 kg, etalonový rezistor, cesiové hodiny).

Příklad: Metr je definován jako délka dráhy, kterou urazí světlo v časovém intervalu $1/299\,792\,458$ sekundy.

Metr je realizován na primární úrovni pomocí vlnové délky helium – neonového jódem stabilizovaného laseru. Na nižších úrovních se používají materiální míry, jako jsou základní měrky, a návaznost je zajištěna použitím optické interferometrie ke stanovení délky základních měrek s návazností na výše uvedenou vlnovou délku laserového světla.

Primární etalon

je etalon, který je určen nebo všeobecně uznáván za etalon s nejvyšší metrologickou kvalitou a jehož hodnota je přijímána bez navazování k jiným etalonům stejné veličiny. Primární etalony se někdy ještě dále dělí na etalony, které při realizaci hodnoty veličiny vycházejí přímo z definice jednotky (typický je prototyp kilogramu) nebo s využitím nějakého nezávislého fyzikálního jevu realizují hodnotu veličiny v určitém známém počtu jednotek (typickým příkladem je etalon odporu založený na kvantovém Hallovo jevu - von Klitzingově konstantě). Etalonům tohoto druhého typu se také říká „intrinsické“.

Mezinárodní etalon

je dohodou uznán za etalon, který slouží mezinárodně k stanovení hodnot jiných etalonů příslušné veličiny (například etalony BIPM). V současnosti je takovým etalonem prakticky jen etalon jednotky hmotnosti, ovšem tendence k posilování spolupráce národních metrologických institutů může vést k posunu významu tohoto pojmu – etalon může sloužit pro více států a být uchováván v jednom z nich – potom se uzavírá smlouva o zajištění návaznosti (traceability agreement).

Státní etalon

je etalon, přijatý oficiálním rozhodnutím za základ stanovení hodnot jiných etalonů příslušné veličiny ve státě.

Pozn.: Státní etalony, obvykle na nejvyšší technické úrovni v zemi, jsou zdrojem metrologické návaznosti pro všechna měření pro tu kterou veličinu. Proto se běžně označují jako státní etalony (v anglicky mluvících zemích „national [measurement] standards“). Státní etalon nemusí nutně být etalonem primárním. Důležité jsou jeho metrologické charakteristiky a to, zda jím realizovaná hodnota vyhovuje domácím potřebám (včetně zajištění mezinárodního uznávání výsledků kalibrace a měření) s vyhovující nejistotou.

V případě ČR uchovává většinu státních etalonů Český metrologický institut a zmíněné oficiální rozhodnutí činí předseda Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Postup vedoucí k tomuto rozhodnutí je náročný a zajišťuje, že schválený státní etalon má prokazatelnou návaznost na mezinárodní etalony, že jeho technická úroveň je srovnatelná s etalony jiných zemí a že vyhovuje požadavkům Dohody o vzájemném uznávání státních etalonů a certifikátů vydávaných národními metrologickými instituty (MRA). Kromě metrologických charakteristik se dokumentují a oponují výsledky výzkumu / vývoje, analýza potřebnosti, mezinárodní porovnání, návaznost, pravidla používání. Posouzení skupinou expertů je veřejné. Stejně náročné je schvalovací řízení projektu na pořízení etalonu.

4.3. Řetězec návaznosti



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

definovat návaznosti měřidel

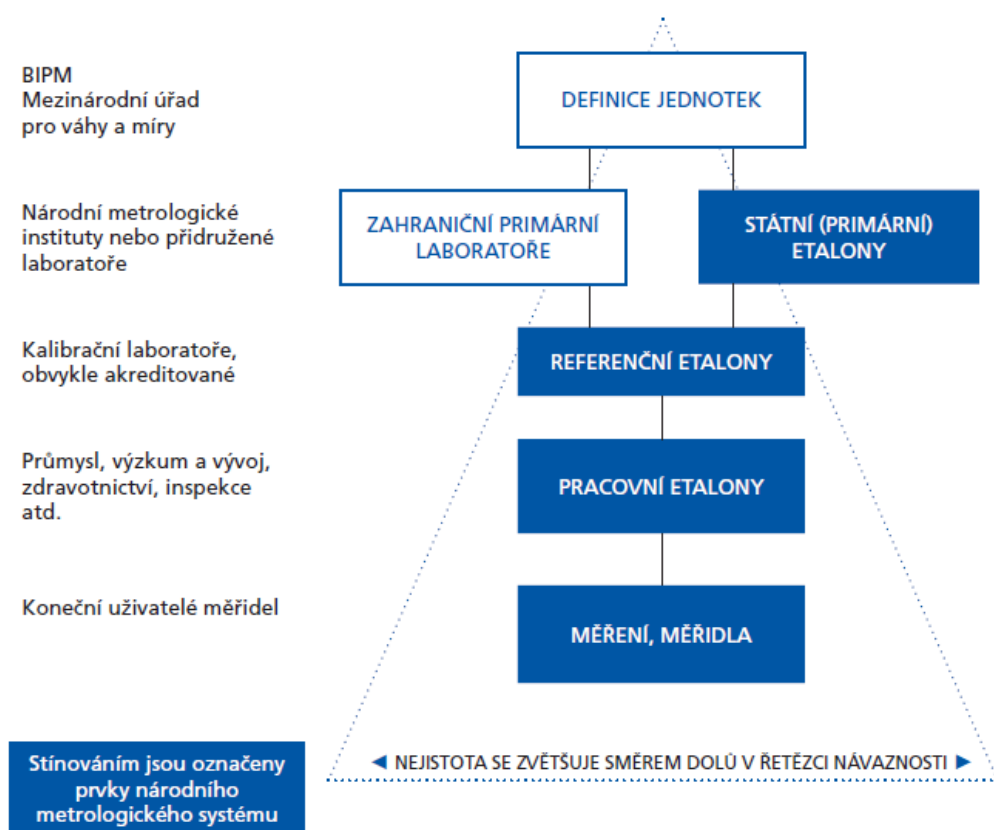
popsat řetězec návaznosti



Výklad

Řetězec návaznosti je nepřerušovaný řetězec porovnání, pro který jsou uvedeny nejistoty. Dodržením této podmínky je zajištěno to, že výsledek měření nebo hodnota etalonu jsou vztaheny k referencím vyšší úrovně. Nakonec se dojde až k primárním etalonům.

Ke konečnému uživateli se potom dostává návaznost na nejvyšší mezinárodní úrovni buď přímo cestou národního metrologického institutu, nebo prostřednictvím sekundární kalibrační laboratoře. Tato laboratoř bývá zpravidla akreditovaná. Díky mezinárodnímu ujednání o vzájemném uznávání může být návaznost zajištěna i prostřednictvím laboratoří, které se nachází mimo vlastní zemi uživatele.



Obr. 3 Řetězec návaznosti



CD-ROM

Video – Kalibrace posuvného měřidla

Video – Kalibrace mikrometru



Shrnutí kapitoly

Definice dne TNI 010115

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

Ověření měřidla – poskytnutí objektivního důkazu, že daná položka splňuje specifikované požadavky.

Další definice

Schválení typu – rozhodnutí o tom, že typ měřidla vyhovuje předepsaným požadavkům.

Ověřování – soubor činností, které se skládají ze zkoušky měřidla, jeho označení úřední značkou a z vystavení ověřovacího listu, kterým se konstatuje a potvrzuje, že měřidlo odpovídá předepsaným požadavkům.

Prvotní ověření – ověření měřidla, které dosud nebylo ověřeno.

Následné ověření – ověření měřidla, které již bylo prvně ověřeno.

Periodické ověřování – ověřování měřidla, prováděné v určitých časových intervalech předepsaným způsobem

Zamítnutí ověření měřidla – rozhodnutí potvrzující, že měřidlo nevyhovuje příslušným předpisům pro ověřování a zakazující jeho používání pro účely, kde je ověření povinné.

Zánik platnosti ověření – zrušení platnosti ověření, pokud měřidlo neodpovídá předepsaným požadavkům.

Označení měřidla – umístění úředních značek nebo plomb na měřidle v souladu s předpisy.

Uchovávání etalonu – všechny operace potřebné k zachování metrologických vlastností etalonu ve vyhovujících mezích.

Schéma návaznosti – dokument, uvádějící hierarchii měřidel, sestavený pro měření dané veličiny, popisující následnost operací pro přenos měřicí jednotky této veličiny a stanovující požadovanou přesnost pro každou z těchto operací.



Kontrolní otázka

O 4.1 Který z etalonů má nejvyšší metrologickou kvalitu?

O 4.2 Co je to řetězec návaznosti?

O 4.3 Z jakých důvodů se provádí kalibrace?

5. CHYBY A NEJISTOTY MĚŘENÍ

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- Popsat jednotlivé chyby měření.
- Popsat nejistoty měření
- Pracovat s naměřenými hodnotami.
- Správně zapsat vypočítané chyby a nejistoty měření.

Budete umět

Budete schopni:

- *Vypočítat náhodnou chybu měření*
- *Vypočítat hrubou chybu měření.*
- *Určit zdroje chyb měření.*
- *Určit zdroje nejistot.*

Budete schopni

Pokud opakujeme měření stejné fyzikální veličiny za stejných podmínek několikrát za sebou, dostáváme zpravidla různé hodnoty. Měřené veličině ale přísluší pouze jediná správná hodnota. Každou odchylku naměřené hodnoty od pravé hodnoty nazýváme všeobecně chybou měření.

5.1. Chyby měření



Čas ke studiu: 3 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

definovat chybu měření
popsat různé chyby měření
vyřešit příklady na hrubé a náhodné chyby měření



Výklad

Dosud bylo zvykem při vyhodnocování souborů naměřených hodnot pracovat s chybami. Nově je vyhodnocování prováděno prostřednictvím vyjádření nejistot měření. V následující části jsou uvedeny základy teorie chyb, aby je bylo možné lépe porovnat s novou koncepcí nejistot, která koncepci chyb nahrazuje.

Chyba měření je definovaná dle TNI 010115 jako rozdíl naměřené hodnoty veličiny a referenční hodnoty veličiny.

$$\varepsilon = y - x_0$$

kde: ε absolutní chyba měření,
 y naměřená hodnota,
 x_0 referenční hodnota veličiny.

Problém je, že skutečnou hodnotu měřené veličiny neznáme a nemůžeme teda takto chybu spočítat. Pozor! Tabulková hodnota není skutečnou hodnotou! Je to také výsledek měření a jako takový známý jen přibližně. Stejně není skutečnou hodnotou teoretická předpověď: skutečnost může být jiná než teorie předvídá. Teorie chyb proto musí skutečnou hodnotu odhadnout a také odhadnout přesnost tohoto odhadu.

Jedno měření k odhadu chyby nikdy nestačí. Není totiž s čím srovnat tuto hodnotu. Z tohoto důvodu je nutné měřit vícekrát. Bylo by sice možné použít chybu danou přístrojem, ale další naměřená hodnota může být jiná. Úkolem teorie chyb je tedy na základě souboru měření najít „nejlepší“ odhad skutečné hodnoty měřené veličiny.

Kvalita měření se hodnotí pomocí této absolutní chyby, nebo častěji pomocí chyby relativní, která je definovaná jako poměr absolutní chyby měření a referenční hodnoty měřené veličiny.

$$\delta = \frac{\varepsilon}{x_0} \cdot 100 [\%]$$

kde: δ relativní chyba měření.

Chyby měření mohou být způsobeny různými příčinami:

- nepřesností měřidel (způsobené např. nedodržením tolerancí u jednotlivých součástek přístroje, chybami vzniklými při montáži přístroje, nevhodnou konstrukcí přístroje,...),
- etalonem použitým na kalibraci měřidla nebo nesprávným seřízením měřidla,
- měřicí silou, tlakem (může vyvolat deformaci měřeného objektu),
- měřicí metodou,
- vlivy prostředí,
- operátorem (chyby zaviněné nedokonalostí lidských smyslů, chyby z nedbalosti, neopatrnosti, neznalosti).

Chyby měření lze roztrždit podle několika hledisek. Podle způsobu výskytu se dělí na:

- chyby hrubé,
- chyby systematické,
- chyby náhodné (nahodilé).

5.1.1. Hrubé chyby

Hrubé chyby jsou většinou na první pohled viditelné, protože naměřená hodnota se výrazně liší od ostatních výsledků. Mohou být způsobeny:

- omylem,
- špatným zapsáním naměřené hodnoty,
- nesprávným odečtením ze stupnice,
- použitím nesprávného měřidla,
- poruchou přístroje,
- nesprávným postupem.

Hodnoty zatížené prokazatelně hrubou chybou, se ze souboru naměřených hodnot vyloučí. V případě nerozhodnosti, je třeba před rozhodnutím o vyloučení (ponechání) v souboru provést otestování odlehlých hodnot, tj. podrobit **testu odlehlosti**.

Testování hodnot, které jsou podezřelé, že by mohly být zatíženy hrubou chybou, se může provádět za předpokladu normálního rozdělení hustoty pravděpodobnosti. Postup při testování odlehlé hodnoty:

1. Určí se hodnota výběrového průměru (průměrná hodnota)

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

kde x_i výsledky jednotlivých měření
 n počet měření

2. Dále je nutné vypočítat směrodatnou odchylku souboru

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

3. Je nutné posoudit odlehlost extrémních hodnot daného souboru. Na ukázkou jsou vybrány druhá a n-tá hodnota, přičemž platí ($x_2 < \bar{x}$, $x_n > \bar{x}$). Pro tyto hodnoty se vypočítá normovaná hodnota (H_2 , H_n). Pro výpočet se použijí následující vzorce:

$$H_2 = \frac{\bar{x} - x_2}{s(x)} \quad \text{nebo} \quad H_n = \frac{x_n - \bar{x}}{s(x)}$$

4. Z tabulky se určí tabulková mezní hodnota H pro předem stanovenou pravděpodobnost p a rozsah výběru n .

Tab. 7 Tabulka mezních hodnot H pro zvolenou pravděpodobnost p a rozsah výběru n

Rozsah výběru n	Mezní hodnoty H pro pravděpodobnost p			
	0,90	0,925	0,95	0,975
3	1,15	1,15	1,15	1,15
4	1,12	1,44	1,46	1,48
5	1,60	1,64	1,67	1,72
6	1,73	1,77	1,82	1,89
7	1,83	1,88	1,94	2,02
8	1,91	1,96	2,03	2,13
9	1,98	2,04	2,11	2,21
10	2,03	2,10	2,18	2,29
11	2,09	2,14	2,23	2,36
12	2,13	2,20	2,29	2,41
13	2,17	2,24	2,33	2,47
14	2,21	2,28	2,37	2,50
15	2,25	2,32	2,41	2,55
16	2,28	2,35	2,44	2,58
17	2,31	2,38	2,48	2,62
18	2,34	2,41	2,50	2,66
19	2,36	2,44	2,53	2,68
20	2,38	2,46	2,56	2,71
25	2,635	2,87	3,351	3,944
30	2,696	2,928	3,402	3,988
40	2,792	3,015	3,48	4,054
50	2,86	3,082	3,541	4,108
100	3,076	3,285	3,723	4,263

5. Na závěr se provede vyhodnocení této hodnoty. V případě, že $H_2 < H$, potom hodnota x_2 není zatížena hrubou chybou. V případě že $H_n > H$, pak hodnota x_n je zatížena hrubou chybou a ze souboru naměřených hodnot se musí vyloučit.



Řešený příklad

Při měření drsnosti byly naměřeny následující hodnoty R_z .

i	R_z
1	24,5
2	25,1
3	24,7
4	24,6
5	29,2

Hodnota pátého měření se výrazně liší od ostatních naměřených hodnot. Z toho usuzují, že je potřeba tuto hodnotu otestovat na hrubou chybu. Pro určení hrubé chyby se bude uvažovat s pravděpodobností $p = 95 \%$.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 25,6$$

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 2,014$$

$$H_5 = \frac{x_5 - \bar{x}}{s(x)} = \frac{180 - 166,6}{7,635} = 1,78$$

Z tabulky se určí mezní hodnota H pro $n = 5$ měření a pravděpodobnost $p = 95 \%$.

$H = 1,67$.

Z toho vyplývá

$1,78 > 1,67$

Protože $H_5 > H$ je tím potvrzeno, že x_5 je zatíženo hrubou chybou, je tedy nutné poslední měření ze souboru měření vyloučit.

5.1.2. Systematické chyby

Systematickou chybu nelze odstranit výpočtem. Projeví se až porovnáním daného měření s měřením provedeným jinou metodou, s měřením provedeným jinou osobou, s měřením provedeným jinými (lepšími) přístroji. Je-li ovšem chyba již zjištěna, může se provést odpovídající korekce. V rámci fyzikálního praktika by měly být zvolené metody dostatečně vhodné a přístroje dostatečně kvalitní.

5.1.3. Náhodné chyby

Podle VIM 2.19 je Náhodná chyba složka chyby měření, která se v opakovaných měřeních mění nepředvídatelným způsobem.

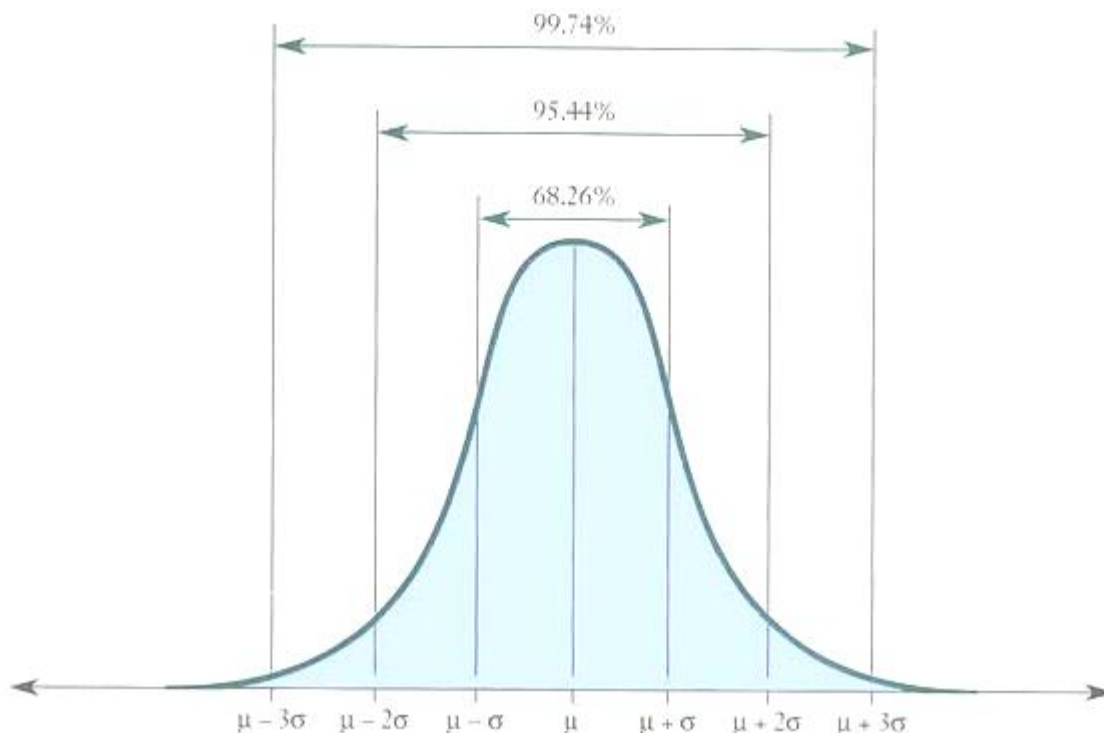
Náhodné chyby působí zcela nahodile, jsou těžko předvídatelné a nelze je vyloučit. Při opakování měření se mění jejich velikost i znaménko, jak odpovídá předpokládanému zákonu rozdělení. Pro určení jejich velikosti se vychází z opakovaných měření s použitím statistických metod, odpovídajících patřičnému pravděpodobnostnímu modelu, reprezentovanému zákonem rozdělení příslušné náhodné chyby. V praxi velmi často jde o rozdělení normální – Gaussovo, které se používá ve většině aplikací.

Náhodné chyby vznikají z těchto zdrojů:

- měřicí metoda – nesprávně zvolená metoda, která náhodně ovlivňuje měření,
- měřidlo – poškozená jedna nebo více součástí měřicího řetězce (např. poškozené měřicí dotyky mikrometru),
- podmínky měření – měřidlo se používá při náhodně se měnících podmínkách (např. optický snímač vzdálenosti je citlivý na vibrace,...),
- obsluha – klasický a častý zdroj náhodných chyb (časté bývá různé používání měřidla při opakovaném měření).

Normální rozdělení

Model náhodného rozdělení je jedním z nejpoužívanějších rozložení ve statistických metodách (zpracování naměřených údajů, modelování chyb, statistická regulace, ...). Všeobecně lze říci, že toto rozdělení se používá všude tam, kde má na kolísání náhodné veličiny vliv velký počet nepatrných a navzájem nezávislých jevů.



Obr. 4 Gaussova křivka

Plocha pod křivkou hustoty rozložení pravděpodobnosti vyjadřuje pravděpodobnost, že se daná hodnota nachází v určitém intervalu.

V praxi se obvykle uvažuje s následujícím intervalem pravděpodobnosti:

$x \pm 1\sigma$	$P = 0,66$; tj. 66 % hodnot,
$x \pm 2\sigma$	$P = 0,95$; tj. 95 % hodnot,
$x \pm 3\sigma$	$P = 0,9973$; tj. 99,73 % hodnot.

Postup při výpočtu náhodné chyby

Obecně se dá předpokládat, že takové vlivy ovlivňující náhodné chyby jsou malé, že je jich mnoho a že přibližně se stejnou pravděpodobností zvyšují nebo snižují měřenou veličinu. Nestejnost výsledku měření se tedy interpretuje jako důsledek přítomnosti náhodných chyb. Metody teorie pravděpodobnosti využívané v teorii chyb umožňují tuto skutečnost kvantifikovat.

1. vypočte se aritmetický průměr (výběrový průměr), který je základní charakteristikou výsledku měření

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

2. výběrová směrodatná odchylka je nejčastější charakteristikou rozptylu naměřených hodnot

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

3. směrodatná odchylka rozptylu dílčích aritmetických průměrů se potom vypočítá ze vztahu

$$u_A = s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \text{ (nejistota typu A)}$$

Náhodná chyba se určuje na základě zvolené pravděpodobnosti a počtu provedených měření. Ve strojírenství se nejčastěji volí pravděpodobnost 95 %.

Z tabulky Studentova rozdělení se podle počtu stupňů volnosti $\nu = n - 1$ (v levém sloupci $n-1$) a zvolené pravděpodobnosti (95 %) určí koeficient k . Například pro pravděpodobnost 95 % a 10 měření je koeficient $k = 2,262$.

Tímto koeficientem se poté vynásobí směrodatná odchylka rozptylu dílčích aritmetických průměrů.

Náhodná chyba (rozšířená nejistota):

$$U = k \cdot u_A$$

Tab. 8 Kritické hodnoty k Studentova rozdělení pro danou pravděpodobnost p

$v=n-1$	pravděpodobnost p								
	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	0,95	0,99	0,999
1	0,325	0,727	1,000	1,376	3,078	6,314	12,706	63,66	636,62
2	0,289	0,617	0,816	1,061	1,886	2,920	4,303	9,925	31,598
3	0,277	0,584	0,765	0,978	1,638	2,353	3,182	5,841	12,941
4	0,271	0,569	0,741	0,941	1,533	2,132	2,776	4,604	8,610
5	0,267	0,559	0,727	0,920	1,476	2,015	2,571	4,032	6,859
6	0,265	0,553	0,718	0,906	1,440	1,943	2,447	3,707	5,959
7	0,263	0,549	0,711	0,896	1,415	1,895	2,365	3,499	5,405
8	0,262	0,546	0,706	0,889	1,397	1,860	2,306	3,355	5,041
9	0,261	0,543	0,703	0,883	1,383	1,833	2,262	3,250	4,781
10	0,260	0,542	0,700	0,879	1,372	1,812	2,228	3,169	4,587
11	0,260	0,540	0,697	0,876	1,363	1,796	2,201	3,106	4,437
12	0,259	0,539	0,695	0,873	1,356	1,782	2,179	3,055	4,318
13	0,259	0,538	0,694	0,870	1,350	1,771	2,160	3,012	4,221
14	0,258	0,537	0,692	0,868	1,345	1,761	2,145	2,977	4,140
15	0,258	0,536	0,691	0,866	1,341	1,753	2,131	2,947	4,073
16	0,258	0,535	0,690	0,865	1,337	1,746	2,120	2,921	4,015
17	0,257	0,534	0,689	0,863	1,333	1,740	2,110	2,898	3,965
18	0,257	0,534	0,688	0,862	1,330	1,734	2,101	2,878	3,922
19	0,257	0,533	0,688	0,861	1,328	1,729	2,093	2,861	3,883
20	0,257	0,533	0,687	0,860	1,325	1,725	2,086	2,845	3,850
21	0,257	0,532	0,686	0,859	1,323	1,721	2,080	2,831	3,819
22	0,256	0,532	0,686	0,858	1,321	1,717	2,074	2,819	3,792
23	0,256	0,532	0,685	0,858	1,319	1,714	2,069	2,807	3,767
24	0,256	0,531	0,685	0,857	1,318	1,711	2,064	2,797	3,745
25	0,256	0,531	0,684	0,856	1,316	1,708	2,060	2,787	3,725
26	0,256	0,531	0,684	0,856	1,315	1,706	2,056	2,779	3,707
27	0,256	0,531	0,684	0,855	1,314	1,703	2,052	2,771	3,690
28	0,256	0,530	0,683	0,855	1,313	1,701	2,048	2,763	3,674
29	0,256	0,530	0,683	0,854	1,311	1,699	2,045	2,756	3,659
30	0,256	0,530	0,683	0,854	1,311	1,697	2,042	2,750	3,646
40	0,255	0,529	0,681	0,851	1,303	1,684	2,021	2,704	3,551
60	0,254	0,527	0,679	0,848	1,296	1,671	2,000	2,660	3,460
120	0,254	0,526	0,677	0,845	1,289	1,658	1,980	2,617	3,373
$+\infty$	0,253	0,524	0,674	0,842	1,282	1,645	1,960	2,576	3,291

kde n počet měření
 v počet stupňů volnosti ($v = n-1$)
 p pravděpodobnost

Zaokrouhlování

Jednu z nejčastějších odchylek od měření vytváří zaokrouhlování výsledků.

- Zaokrouhlování se provádí zpravidla na 2 platné číslice.
- Zaokrouhluje se podle matematických zákonitostí.

Zápis výsledku

$$(\bar{x} \pm U) \text{ jednotka}$$

správný zápis

$$(21,50 \pm 0,02) \text{ jednotka}$$

nesprávný zápis

$$21,5 \pm 0,02 \text{ jednotka}$$

5.2. Nejistoty měření



Čas ke studiu: 3 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

definovat nejistotu měření

popsat různé druhy nejistot měření

vyřešit příklady na výpočet nejistoty typu A



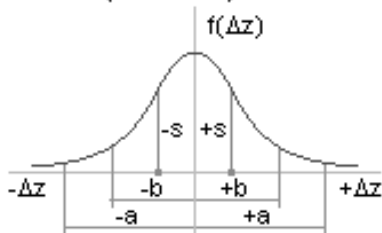
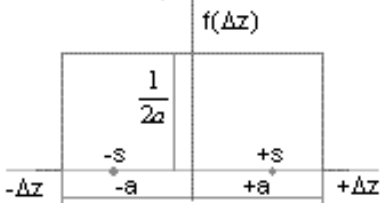
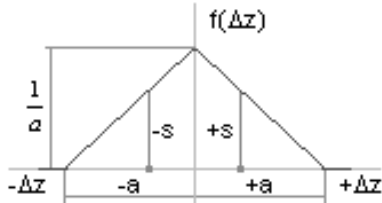
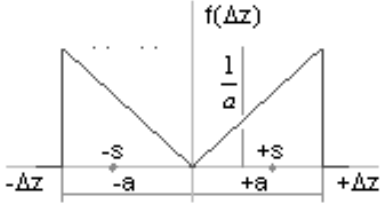
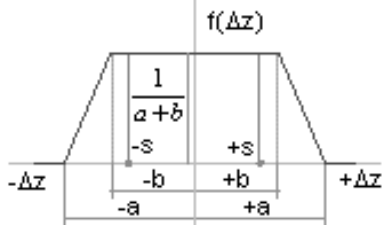
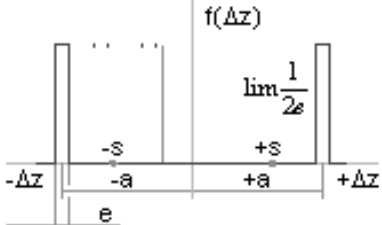
Výklad

Nejistota měření charakterizuje rozsah naměřených hodnot okolo výsledku měření, který lze zdůvodněně přiřadit k hodnotě měřené veličiny. Nejistota měření se týká nejen výsledku měření, ale i měřicích přístrojů, hodnot použitých konstant, korekcí apod., na kterých nejistota výsledku měření závisí. Základem určování nejistot měření je statistický přístup. Předpokládá se určité rozdělení pravděpodobnosti, které popisuje, jak se může udávaná hodnota odchýlovat od skutečné hodnoty, resp. pravděpodobnost, s jakou se v intervalu daném nejistotou může nacházet skutečná hodnota.

Mírou nejistoty měření je směrodatná odchylka udávané veličiny. Takto vyjádřená nejistota se označuje jako **standardní nejistota** – u a představuje rozsah hodnot okolo naměřené hodnoty. Standardní nejistoty se dělí na standardní nejistoty typu A a typu B. Udávají se buď samostatně bez znaménka, nebo za hodnotou výsledku se znaménkem $\pm$.

Standardní nejistoty typu A - u_A jsou způsobovány náhodnými chybami, jejichž příčiny se považují všeobecně za neznámé. Stanovují se z opakovaných měření stejné hodnoty měřené veličiny za stejných podmínek. Tyto nejistoty se stoupajícím počtem opakovaných měření se zmenšují. Přitom se předpokládá existence náhodných chyb s normálním rozdělením.

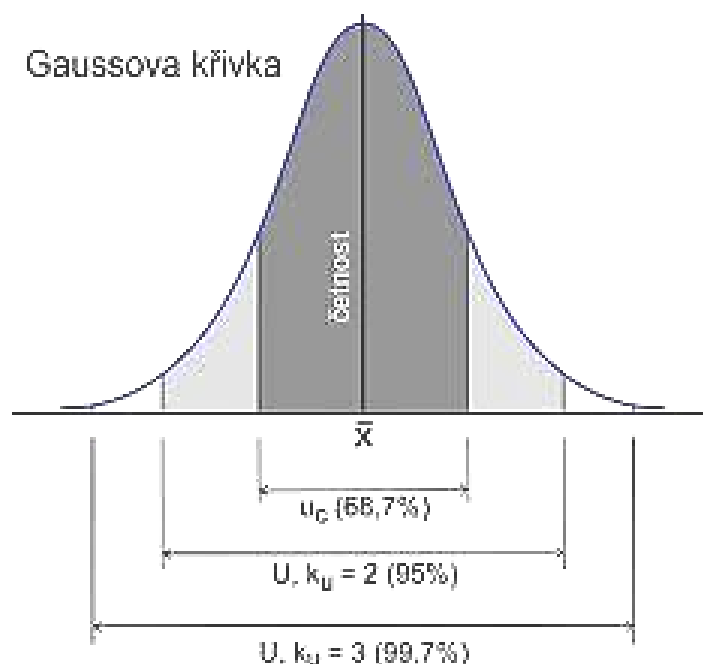
Standardní nejistoty typu B - u_B jsou způsobovány známými a odhadnutelnými příčinami vzniku. Jejich identifikaci a základní hodnocení provádí experimentátor. Jejich určování nebývá vždy jednoduché. U složitých měřicích zařízeních a při zvýšeném požadavku na přesnost, musí se provést podrobný rozbor chyb, což vyžaduje značné zkušenosti. Tyto nejistoty vycházejí z různých zdrojů a výsledná nejistota typu B je dána jejich sumací - přitom nezávisí na počtu opakovaných měření.

Rozdělení	$Z_{\max}$	χ	Rozdělení	$Z_{\max}$	χ
normální (Gaussovo) 	a	3	rovnoměrné - pravoúhlé 	a	$\sqrt{3}$
trojúhelníkové (Simpsonovo) 	a	$\sqrt{6}$	bimodální - (trojúhelníkové) 	a	$\sqrt{2}$
lichoběžníkové 	a	2,32 $b = \frac{a}{3}$	bimodální (Diracovo) 	a	1

Obr. 5 Druhy rozdělení při určování standardní nejistoty typu B

Kombinovaná standardní nejistota - u_c je sumací nejistot typu A a B. Hodnotí-li se výsledek měření touto nejistotou, není třeba rozlišovat nejistoty typu A a B. Kombinovaná standardní nejistota udává interval, ve kterém se s poměrně velkou pravděpodobností může vyskytovat skutečná hodnota měřené veličiny. V praxi se dává této nejistotě přednost.

Rozšířená standardní nejistota U se zavádí v případě, že je třeba zajistit ještě větší pravděpodobnost správného výsledku měření. Získá se tak, že se kombinovaná standardní nejistota u_c vynásobí součinitelem k_u .



Obr. 6 Gaussova křivka

Při zjišťování jednotlivých standardních nejistot se postupuje podle toho, zda se jedná o přímé nebo nepřímé měření jedné nebo více veličin. Při výpočtech se hodnoty koeficientů a nejistot zaokrouhlují na tři platné číslice. Udávaná výsledná nejistota se zaokrouhluje na dvě platné číslice.

5.2.1. Zdroje nejistot

Jako zdroje nejistot lze označit veškeré jevy, které nějakým způsobem mohou ovlivnit neurčitost jednoznačného stanovení výsledku měření, a tím vzdalují naměřenou hodnotu od hodnoty skutečné. Značnou roli zde sehrává také skutečnost, zda jde o měřicí metody přímé nebo nepřímé. Na nejistoty působí výběr měřicích přístrojů analogových nebo číslicových, použití různých filtrů, vzorkovačů a dalších prostředků v celé trase přenosu a úpravy měřicího signálu. K nejistotám velmi výrazně přispívají rušivé vlivy prostředí v tom nejširším slova smyslu.

Vyjmenovat zde veškeré možné zdroje nejistot nelze, takže se pokusme uvést alespoň ty, které se vyskytují nejčastěji:

- nedokonalá či neúplná definice měřené veličiny nebo její realizace,
- nevhodný výběr přístroje (rozlišovací schopnost aj.)
- nevhodný (nereprezentativní) výběr vzorků měření,
- nevhodný postup při měření
- zjednodušení (zaokrouhlení) konstant a převzatých hodnot,
- linearizace, aproximace, interpolace anebo extrapolace při vyhodnocení,
- neznámé nebo nekompenzované vlivy prostředí,
- nedodržení shodných podmínek při opakovaných měřeních,
- subjektivní vlivy obsluhy,
- nepřesnost etalonů a referenčních materiálů.

Některé ze zdrojů se projevují výhradně, či výrazněji v nejistotách vyhodnocovaných nejistotou typu A, jiné při použití nejistoty typu B. Mnohé zdroje ale mohou být příčinou obou skupin nejistot, a zde právě číhá největší nebezpečí v podobě opomenutí jedné ze složek, což může mít i velmi výrazný zkreslující účinek.

5.2.2. Výpočet nejistot

Výpočet standardní nejistoty typu A

Odhad údaje X měřené veličiny pomocí výběrového průměru $\bar{x}$ z n naměřených hodnot:

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

Odhad rozptylu naměřených hodnot se označuje jako výběrový rozptyl a určí se ze vztahu:

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

Směrodatná odchylka výběrových průměrů je zvolena za standardní nejistotu typu A, tedy

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

Pokud je počet opakovaných měření menší než deset a není možné učinit kvalifikovaný odhad na základě zkušenosti, určí se korigovaná nejistota u_{Ak} ze vztahu:

$$u_{Ak} = k \cdot u_A$$

kde k koeficient závislý na počtu opakovaných měření, jak je uvedeno v následující tabulce.

Tab. 9 Koeficient závislý na počtu opakování

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

Výpočet standardní nejistoty typu B

Postup při zjišťování standardní nejistoty typu B je následující:

Vytipují se možné zdroje nejistot Z_j ; jsou jimi např. nedokonalé měřicí přístroje, použité měřicí metody, nepřesné hodnoty konstant, způsob vyhodnocování a někdy i malé zkušenosti pracovníka v laboratoři. Odhadne se rozsah odchylek $\pm \Delta Z_{max}$ od jmenovité hodnoty tak, aby jeho překročení bylo málo pravděpodobné. Dále se odhadne, jakému rozdělení pravděpodobnosti odpovídají odchylky ΔZ v intervalu $\pm \Delta Z_{max}$ a určí se nejistoty u_z ze vztahu $u_z = \pm \Delta Z_{max} / m$. Hodnota m závisí na druhu rozdělení: $m = 2$ pro normální, $m = 1,73$ pro rovnoměrné a $m = 2,45$ pro trojúhelníkové rozdělení.

Určí se standardní nejistoty u_z těchto zdrojů (např. převzetím hodnot nejistot z technické dokumentace jako jsou certifikáty, kalibrační listy, technické normy, údaje výrobců, technické tabulky apod.) a přepočítají se na složky nejistoty měřené veličiny - u_{zj} .

Výsledná standardní nejistota typu B se vypočítá ze vztahu:

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^m u_{zj}^2}$$

Kombinovaná standardní nejistota u_C

Tato nejistota se určí ze vztahu:

$$u_C = \sqrt{(u_A^2 + u_B^2)}$$

Rozšířená nejistota U

Na základě hustoty pravděpodobnosti se Kombinovaná nejistota vynásobí součinitelem:

$$U = k_u \cdot u_C$$

Hodnoty k_u

pro pravděpodobnost P = 68 %	k_u odpovídá hodnotě 1
pro pravděpodobnost P = 95 %	k_u odpovídá hodnotě 2
pro pravděpodobnost P = 99,73 %	k_u odpovídá hodnotě 3

5.2.3. Udávání nejistot

Údaje o nejistotách musí obsahovat formulace a zápis výsledných hodnot, způsobu výpočtu a nutné informace o pramenech.

Výpočet nejistot je neoddělitelnou částí zpracování výsledků měření. Nejistoty musí být specifikovány. Při udávání rozšířené nejistoty musí být uveden použitý koeficient rozšíření (k_u), popř. odpovídající konfidenční pravděpodobnost. Lze udávat jak absolutní, tak i relativní nejistoty, popř. oboje. Hodnoty nejistot se zásadně zaokrouhlují na dvě platná místa a to přednostně nahoru.

Je třeba také uvádět odkazy na použité normativní dokumenty. Některé tyto dokumenty přímo předepisují náležitosti a formulace při udávání výsledků měření včetně nejistot.

Do certifikátů o kalibraci se uvádí výsledek měření s rozšířenou nejistotou ve formě $(\bar{x} \pm U)$ s následujícím dodatkem: "Uvedená nejistota představuje dvě směrodatné odchylky. Směrodatná odchylka byla vypočtena z nejistoty měřicího etalonu, kalibračních metod, vnějších vlivů, krátkodobého vlivu kalibrovaného objektu ..."



Řešený příklad

Příklad na výpočet náhodné chyby u přímého měření

Bylo provedeno deset měření určité délky l. Naměřené hodnoty jsou uvedené v následující tabulce.

i	l_i [mm]	$l_i - \bar{l}$ [mm]	$(l_i - \bar{l})^2$ [mm]
1	62,7	-0,043	0,001849
2	62,77	0,027	0,000729
3	62,71	-0,033	0,001089
4	62,73	-0,013	0,000169
5	62,76	0,017	0,000289
6	62,72	-0,023	0,000529
7	62,78	0,037	0,001369
8	62,75	0,007	$4,9 \cdot 10^{-5}$
9	62,77	0,027	0,000729
10	62,74	-0,003	$9 \cdot 10^{-6}$
	$\Sigma l_i = 627,43$		$\Sigma(l_i - \bar{l})^2 = 0,00681$

$$\bar{l} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_{10}}{n} = \frac{627,43}{10} = 62,743 \text{ mm}$$

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0,00681}{90}} = 0,0086 \text{ mm}$$

$$U = k \cdot u_A = 2,262 \cdot 0,0086 = 0,019 \doteq 0,02 \text{ mm}$$

$$k = 2,262$$

Naměřená délka včetně vyjádření rozšířené nejistoty A

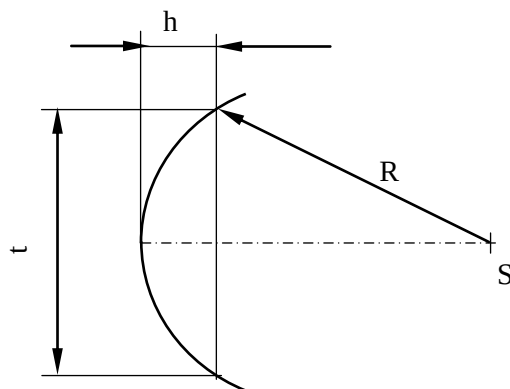
$$l = (62,74 \pm 0,02) \text{ mm}$$



Řešený příklad

Příklad na výpočet náhodné chyby u přímého měření

Provedte proměření potřebných parametrů optické čočky a vypočítejte poloměr zaoblení R.



$$R = \frac{t^2}{8 \cdot h} + \frac{h}{2}$$

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce

i	t_i [mm]	h_i [mm]	$(t_i - \bar{t})^2$ [mm]	$(h_i - \bar{h})^2$ [mm]
1	24	0,59	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$6,4 \cdot 10^{-05}$
2	24	0,58	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$4 \cdot 10^{-06}$
3	24	0,58	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$4 \cdot 10^{-06}$
4	23,995	0,58	$2,03 \cdot 10^{-05}$	$4 \cdot 10^{-06}$
5	24	0,59	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$6,4 \cdot 10^{-05}$
6	24	0,59	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$6,4 \cdot 10^{-05}$
7	24	0,58	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$4 \cdot 10^{-06}$
8	23,995	0,57	$2,03 \cdot 10^{-05}$	0,000144
9	24	0,58	$2,5 \cdot 10^{-07}$	$4 \cdot 10^{-06}$
10	24,005	0,58	$3,02 \cdot 10^{-05}$	$4 \cdot 10^{-06}$
	$\sum t_i = 239,995$	$\sum h_i = 5,82$	$\sum (t_i - \bar{t})^2 = 7,25 \cdot 10^{-5}$	$\sum (h_i - \bar{h})^2 = 0,00036$

Výpočet hodnoty t

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_{10}}{n} = \frac{239,995}{10} = 62,743 \text{ mm}$$

$$u_{A(t)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{7,25 \cdot 10^{-5}}{90}} = 0,000897 \text{ mm}$$

$$U_t = k \cdot u_{A(t)} = 2,262 \cdot 0,000897 = 0,00203 \doteq 0,002 \text{ mm}$$

$$k = 2,262$$

Zápis naměřené hodnoty t včetně rozšířené nejistoty A

$$t = (62,743 \pm 0,002) \text{ mm}$$

Výpočet hodnoty h

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_{10}}{n} = \frac{5,82}{10} = 0,582 \text{ mm}$$

$$u_{A(h)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0,00036}{90}} = 0,002 \text{ mm}$$

$$U_h = k \cdot u_{A(h)} = 2,262 \cdot 0,002 = 0,00452 \doteq 0,005 \text{ mm}$$

$$k = 2,262$$

Zápis naměřené hodnoty h včetně rozšířené nejistoty A

$$h = (0,582 \pm 0,005) \text{ mm}$$

Výpočet poloměru čočky R

$$R = \frac{t^2}{8 \cdot h} + \frac{h}{2} = \frac{23,9995^2}{8 \cdot 0,582} + \frac{0,582}{2} = 123,9972 \text{ mm}$$

$$R = 124 \text{ mm}$$

Výpočet chyby měření poloměru R je možné provést dvěma způsoby.

1. Způsob

Spočítá se poloměr zaoblení pro každou naměřenou hodnotu, která je funkcí poloměru R pomocí programu Microsoft Excel.

i	t_i [mm]	h_i [mm]	R_i [mm]	$(R_i - \bar{R})^2$ [mm]
1	24	0,59	122,3289	2,826928
2	24	0,58	124,4279	0,174461
3	24	0,58	124,4279	0,174461
4	23,995	0,58	124,3762	0,133932
5	24	0,59	122,3289	2,826928
6	24	0,59	122,3289	2,826928
7	24	0,58	124,4279	0,174461
8	23,995	0,57	126,5482	6,441027
9	24	0,58	124,4279	0,174461
10	24,005	0,58	124,4797	0,22035
	$\sum t_i = 239,995$	$\sum h_i = 5,82$	$\sum R_i = 1240,102$	$\sum (R_i - \bar{R})^2 = 15,97394$

$$R_1 = \frac{t_1^2}{8 \cdot h_1} + \frac{h_1}{2} = \frac{24^2}{8 \cdot 0,59} + \frac{0,59}{2} = 122,3289 \text{ mm}$$

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_{10}}{n} = \frac{1240,102}{10} = 124,01 \text{ mm}$$

$$u_{A(R)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{15,97394}{90}} = 0,4213 \text{ mm}$$

$$U_R = k \cdot u_{A(R)} = 2,262 \cdot 0,4213 = 0,953 \doteq 1 \text{ mm}$$

$$k = 2,262$$

Zápis naměřené hodnoty t včetně rozšířené nejistoty A

$$R = (124 \pm 1) \text{ mm}$$

2. Způsob

Určí se partiální derivace funkčních závislostí vzorce na výpočet poloměru zaoblení dle obou proměnných t , h .

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\partial R}{\partial t} = \frac{2 \cdot t}{8 \cdot h} = \frac{t}{4 \cdot h} = \frac{23,9995}{4 \cdot 0,582} = 10,309 \text{ mm}$$

$$\frac{\partial f}{\partial h} = \frac{\partial R}{\partial h} = \frac{1}{2} - \frac{t^2}{8 \cdot h^2} = \frac{1}{2} - \frac{23,9995^2}{8 \cdot 0,582^2} = -212,0536 \text{ mm}$$

$$u_{A(R)} = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial t} \cdot s(\bar{t})\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial h} \cdot s(\bar{h})\right)^2} = \sqrt{(10,309 \cdot 0,000897)^2 + (-212,0536 \cdot 0,002)^2}$$

$$u_{A(R)} = 0,4242 \text{ mm}$$

$$U_R = k \cdot u_{A(R)} = 2,262 \cdot 0,4242 = 0,9595 \doteq 1 \text{ mm}$$

$$k = 2,262$$

Zápis naměřené hodnoty R včetně rozšířené nejistoty A

$$R = (124 \pm 1) \text{ mm}$$

Dle uvedeného příkladu je zřejmé, že obě metody vedou ke stejnému výsledku, proto je jedno, kterou z uvedených metod zvolíte pro výpočet u nepřímé metody měření.



Shrnutí kapitoly

Definice dle TNI 01 0115

Chyba měření – naměřená hodnota veličiny minus referenční hodnota veličiny.

Systematická chyba měření – složka chyby měření, která v opakovaných měřeních zůstává konstantní nebo se mění předvídatelným způsobem.

Náhodná chyba měření – složka chyby měření, která se v opakovaném měření mění nepředvídatelným způsobem.

Podmínka opakovatelnosti měření – podmínka měření ze souboru podmínek, který zahrnuje stejný postup měření, stejný obslužný personál, stejný měřicí systém, stejné pracovní podmínky, stejné místo, a opakování měření na stejném nebo podobných objektech v krátkém časovém úseku.

Opakovatelnost měření – preciznost měření ze souboru podmínek opakovatelnost měření.

Podmínka reprodukovatelnosti měření – podmínka měření ze souboru podmínek, který zahrnuje různá místa, obslužný personál, měřicí systémy a opakování měření na stejných nebo podobných objektech.

Reprodukovatelnost měření – preciznost měření za podmínek reprodukovatelnosti měření.

Přesnost měření – těsnost shody mezi naměřenou hodnotou veličiny a pravou hodnotou naměřené veličiny.

Nejistota měření – nezáporný parametr charakterizující rozptýlení hodnot veličiny přiřazených k měřené veličině na základě použité informace.

Vyhodnocení nejistoty měření způsobem A – vyhodnocení složky nejistoty měření statistickou analýzou naměřených hodnot veličiny získaných za definovaných podmínek měření.

Vyhodnocení nejistoty měření způsobem B – vyhodnocení složky nejistoty měření stanovené jiným způsobem než vyhodnocení nejistoty měření způsobem A.

Standardní nejistota měření – nejistota měření vyjádřená jako směrodatná odchylka.

Kombinovaná standardní nejistota měření – standardní nejistota měření, která je získána použitím individuálních standardních nejistot měření přidružených ke vstupním veličinám v modelu měření.



Kontrolní otázka

- O 5.1 Čím jsou způsobeny chyby měření?
- O 5.2 Vyjmenujte zdroje náhodných chyb.
- O 5.3 Vyjmenujte zdroje nejistot.
- O 5.4 Matematicky vyjádřete a popište standardní nejistotu typu A.

6. ZÁKLADNÍ DRUHY MĚŘIDEL

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- Základní terminologii dle normy TNI 01 0115.
- Rozdělení měřidel podle různých hledisek.

Budete umět

Budete schopni:

- *rozdělit měřidla podle různých hledisek.*

Budete schopni

I věda je zcela závislá na měření. Geologové měří otřesy, jimiž se projevují gigantické síly způsobující zemětřesení, astronomové trpělivě měří světlo přicházející ze vzdálených hvězd a zjišťují tak jejich stáří, jaderní fyzikové jásají, když se jim podaří měřením v miliontinách sekundy nakonec potvrdit přítomnost některé nekonečně malé částice. Existence měřidel a schopnost používat je má zásadní význam pro to, aby vědci mohli objektivně dokumentovat dosažené výsledky. Věda o měření – metrologie – je patrně nejstarší vědou na světě a znalost toho, jak jí využívat, je zásadní nutností prakticky u všech vědeckých oborů.

6.1. Druhy měřidel



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

definovat základní pojmy z oblasti měřidel.
popsat rozdělení měřidel podle různých hledisek



Výklad

Podle normy TNI 010115

Měřidlo (měřicí přístroj) – zařízení používané k měření buď samostatné nebo ve spojení s jedním nebo více přidavnými zařízeními.

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

Indikační měřidlo – měřidlo poskytující výstupní signál nesoucí informaci o hodnotě veličiny, která je měřena.

Zobrazovací měřidlo – indikační měřidlo, kde je výstupní signál prezentován vizuální formou.

Stupnice zobrazovacího měřidla – část zobrazovacího měřidla sestávající z uspořádaného souboru značek společně s jakýmkoliv přidruženými hodnotami veličiny.

Ztělesněná míra – měřidlo reprodukcující nebo trvale poskytující během jeho používání veličiny jednoho nebo více daných druhů, přičemž každá z nich má přidělenou hodnotou veličiny.

Klasifikace měřidel se dá rozčlenit podle různých kritérií:

dle zákona č. 119 /2000 Sb. – o metrologii:

- etalony,
- stanovená měřidla,
- pracovní měřidla,
- referenční materiály.

dle způsobu měření:

- absolutní - zjišťujeme přímo hodnoty celkových rozměrů,
- komparační (porovnávací) – zjišťujeme odchylky od předem nastavené hodnoty, nejčastěji od jmenovitého rozměru,
- toleranční – zjišťujeme, zda bylo vyhověno předpisu, tj. zda nejsou překročeny mezní hodnoty rozměrů, popř. mezní úchyly.

dle principu měření na měřidla s převodem:

- mechanickým,
- elektrickým,
- optickým,
- pneumatickým,
- kombinovaným atd.

dle toho, zda při měření dochází ke kontaktu funkční části měřidla s měřeným objektem na měřidla:

- dotyková,
- bezdotyková.

dle účelu na měřidla pro měření:

- délek,
- úhlů,
- průtočného množství,
- objemu,
- teploty atd.

dle počtu měřených souřadnic:

- jednosouřadnicové měřicí systémy (posuvné měřítko),
- dvousouřadnicové měřicí systémy (měřicí mikroskop),
- třísouřadnicové měřicí systémy (třísouřadnicové měřicí stroje).



Shrnutí kapitoly

Absolutní měřidlo – při jehož použití jsou zjišťovány celkové rozměry a měřená hodnota se odečítá přímo z měřidla.

Porovnávací měřidlo – měřidlo, při jehož použití se určují úchytky od jmenovitého rozměru.

Toleranční měřidlo – při použití tohoto měřidla se určuje skutečnost, zda je vyhověno předpisu přesnosti (nejsou-li překročeny hodnoty mezních rozměrů).



Kontrolní otázka

O 6.1 Co je to měřidlo dle normy TNI 01 0115.

O 6.2 Jaké je dělení měřidel podle zákona O metrologii?

7. METROLOGIE DÉLKY

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- popis základních měřidel,
- konkrétní práci se základními měřidly jako například s posuvným měřidlem, mikrometrem, kalibrem, číselníkovým úchylkoměrem, koncovými měrkami.

Budete umět

Budete schopni:

- *měřit pomocí posuvného měřidla*
- *měřit pomocí mikrometrických měřidel*
- *měřit pomocí číselníkového úchylkoměru*
- *používat kalibr*
- *používat koncové měrky*

Budete schopni

Trest smrti hrozil tomu, kdo zapomněl nebo zanedbal svoji povinnost zkalibrovat své měřidlo délky při každém úplňku. Takové bylo riziko královských architektů odpovědných za budování chrámů a pyramid pro faraony ve starém Egyptě tři tisíce let před naším letopočtem. První královský loket byl definován jako délka předloktí od lokte ke špičce nataženého prostředníčku vládnoucího faraona, plus šířka jeho ruky. Prvotní měření bylo přeneseno na černou žulu a do ní vytesáno. Pracovníkům na staveništích byly předány žulové nebo dřevěné kopie a architekti byli odpovědní za jejich udržování.

7.1. Posuvné měřidlo



Čas ke studiu: 1 hodinu



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

definovat pojem nonius
popsat posuvné měřidlo
vyřešit měření za pomoci posuvného měřidla



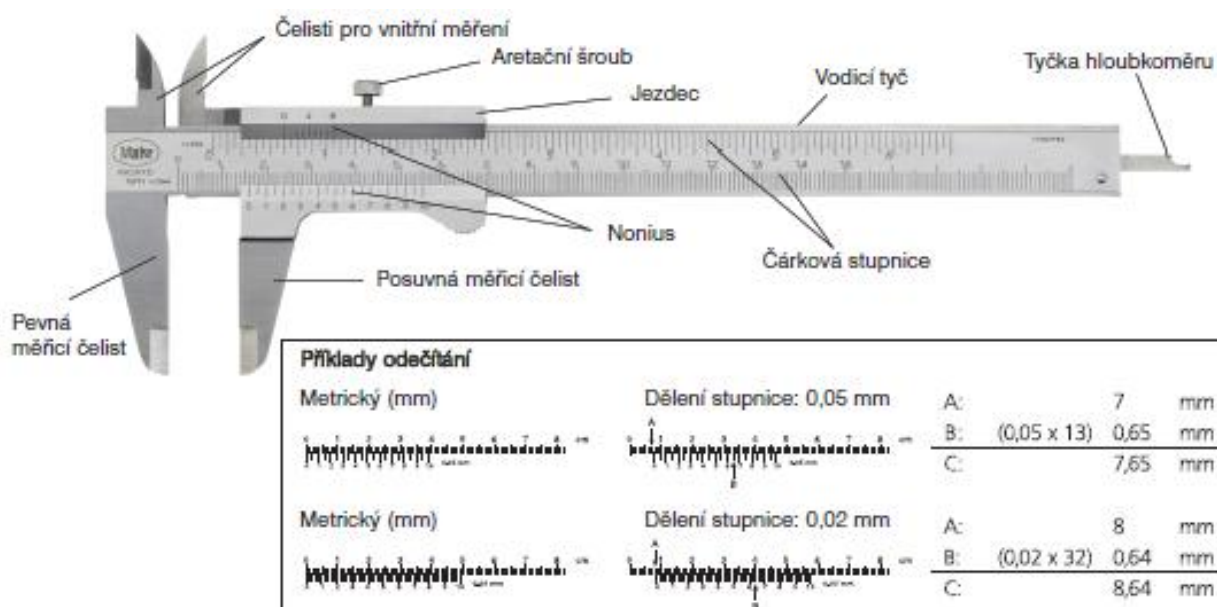
Výklad

Posuvné měřidlo patří mezi základní délková měřidla. Tímto měřidlem je možné měřit vnější rozměry, vnitřní rozměry a hloubku. Vyrábí se v různých variantách a velikostech. Jedná se o měřidlo absolutní.

Toto měřidlo využívá k odečítání hodnot noniovou stupnici. Tyto stupnice jsou charakteristické tím, že kromě základní stupnice mají i vedlejší stupnici tzv. nonius. Tyto stupnice využívají nejčastěji právě posuvná měřidla, ale mohou se objevit i u např. úhlových měřidel.

Při odečítání na posuvných měřidlech se používají 3 různé noniusey, a podle toho, který je na daném přístroji, je odečítání na 0,1 mm, 0,05 mm a 0,02 mm. Tato hodnota udává, na jaké desetinné místa je možné na daném měřidle odečítat, ale není to přesnost měřidla.

Přesnost měření může být ovlivněna silou přitlaku čelisti z důvodu, že na posuvném měřítku nemáme konstantní přitlak na měřenou součást. Takže síla přitlaku závisí na zkušenosti a cviku měřící osoby.

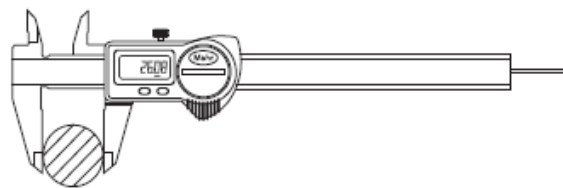


Obr. 7 Popis posuvného měřidla

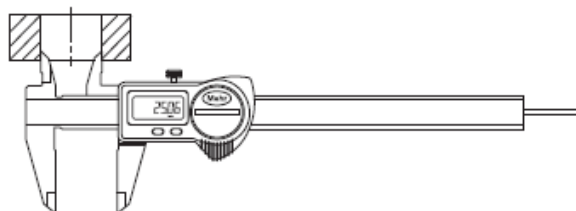


Obr. 8 Varianty ukazatele měřených hodnot

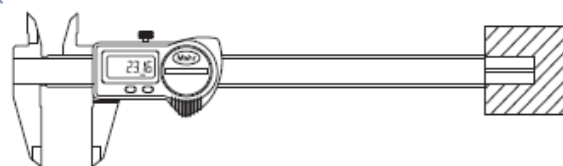
a) Vnější měření



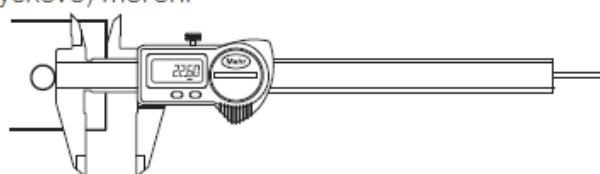
b) Vnitřní měření



c) Měření hloubek



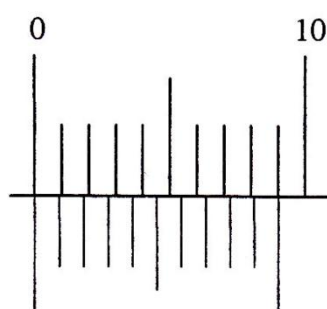
d) Stupňové (výškové) měření



Obr. 9 Možnosti měření pomocí posuvného měřidla

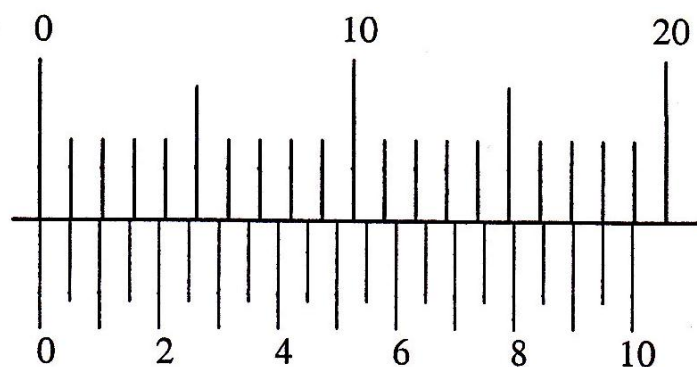
7.1.1. Odečítání na 0,1 mm

Nonius je pomocná stupnice na odečítání dílů vzdálenosti dvou sousedních čárek hlavní stupnice. Jeho princip spočívá v tom, že délce 9 dílků základní stupnice (9 mm) odpovídá délka 10 dílků stupnice nonické. Někdy se používá značení „9/10“ nebo „1/10“. Nonická diference je 0,1 mm ($1/10 = 0,1$). Ve skutečnosti je délka jednoho dílku na noniu 0,9 mm ($9/10 = 0,9$). Do celého mm chybí 0,1 mm, a proto nonius umožňuje odečítání na 0,1 mm.



Obr. 10 Noniová stupnice s odečítáním na 0,1 mm

Na stejném principu je založeno i odečítání na 0,05 mm a 0,02 mm.



Obr. 11 Nonická stupnice s odečítáním na 0,05 mm

Při čtení naměřených hodnot nejprve odečítáme celé milimetry. Jejich počet odečteme na hlavní stupnici vlevo od nulové rysky nonia. Poté odečítáme desetiny (setiny) milimetrů, jejichž počet určuje ryska stupnice nonia, která se nejpřesněji kryje s některou z rysek na hlavní stupnici. Oba rozměry – celé milimetry a desetiny nebo setiny milimetrů přečteme jako jeden rozměr.



CD-ROM

Video – Měření posuvným měřidlem

7.2. Mikrometrická měřidla



Čas ke studiu: 1 hodinu



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

definovat pojem mikrometrická měřidla

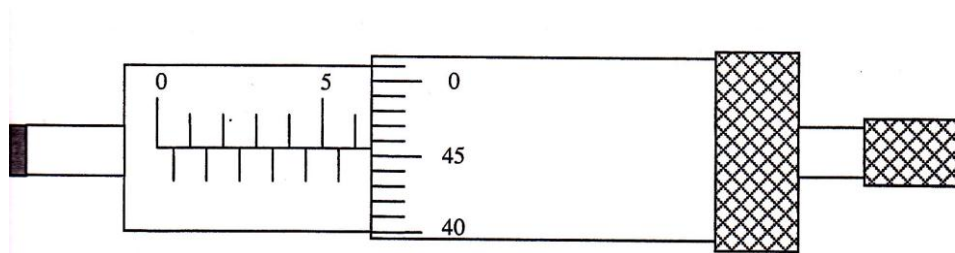
popsat třmenový mikrometr

vyřešit měření za pomoci mikrometrické stupnice



Výklad

Mikrometrické stupnice jsou charakteristické tím, že pracují na principu přesně vyrobeného šroubu a matice. Proto se i technické vyhotovení této stupnice nazývá mikrometrický šroub. Mikrometrické stupnice se nejčastěji používají pro třmenový mikrometr (od toho je i odvozený název), ale i pro další druhy měřidel, jako například pro některé druhy měřících mikroskopů (např. malý a velký dílenský mikroskop) a pro profilprojektory.



Obr. 12 Mikrometrický šroub



Obr. 13 Popis třmenového mikrometru

a) Digitální třmenový mikrometr s číslicovým ukazatelem



b) Mechanický třmenový mikrometr s kruhovým číselníkem a číslicovou stupnicí



c) Mechanický třmenový mikrometr s číslicovou stupnicí



Obr. 14 Varianty ukazatele třmenového mikrometru



Obr. 15 Třídotykový dutinoměr pracující na principu mikrometrického šroubu

7.2.1. Odečítání na mikrometrických stupnicích

Při měření je nutné dodržet následující postup:

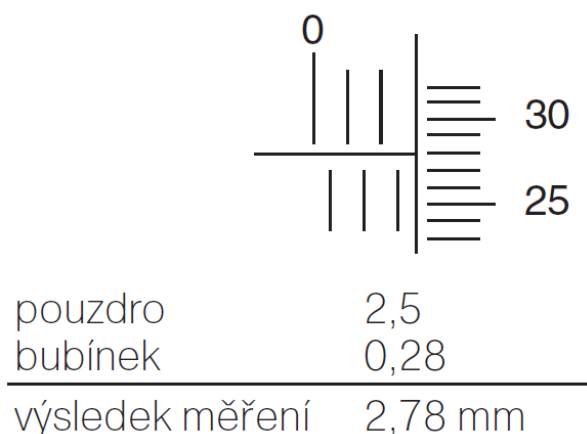
- obrobek se upne mezi měřicí plochy,
- mikrometrický šroub se šroubuje "řehtačkou" dokud "neprokluzuje",
- mikrometr se zafixuje stavěcím kroužkem,
- mikrometr se klouzavým pohybem sundá z obrobku,
- odečte se hodnota.

Mikrometr je důležité správně držet!

Měřidlo se musí držet pouze za třmen nebo držet opřený o část dlaně pod palcem a palcem nebo ukazováčkem otáčet bubínkem se stupnicí nebo řehtačkou. Aby se vyloučili chyby při sériovém měření, způsobené teplem rukou, mikrometr se často upíná do přidržovacího stojánu.

Při odečítání hodnoty na mikrometrických stupnicích je nutné dodržet 3 kroky:

1. **Určí se hodnota na základní stupnici** – hodnota posledního viditelného dílku základní stupnice (dílky reprezentují celé mm, i 0,5 mm).
2. **Určí se hodnota na vedlejší stupnici (bubínku)** – hodnota dílku vedlejší stupnice, který se protíná se základní stupnicí. Hodnoty dílků vedlejší stupnice jsou v setinách mm.
3. **Určí se výsledná hodnota** – hodnoty odečítané na základní stupnici a vedlejší stupnici se sečtou (viz následující obrázek).



Obr. 16 Příklad odečtení hodnoty mikrometrického šroubu s přesností 0,01 mm



CD-ROM

Video – Měření třmenovým mikrometrem

7.3. Kalibry



Čas ke studiu: 1 hodinu



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

definovat pojem kalibr
popsat kalibr
vyřešit měření za pomoci kalibru



Výklad

Kalibr je prostředek pro měření, který zhmotňuje jeden rozměr nebo jeden tvar, resp. realizuje jedno i druhé současně. Hlavní oblastí použití kalibrů je kontrola rozměrů hotových výrobků v průmyslových podnicích.

Taylor formuloval dvě základní věty platné pro kalibry:

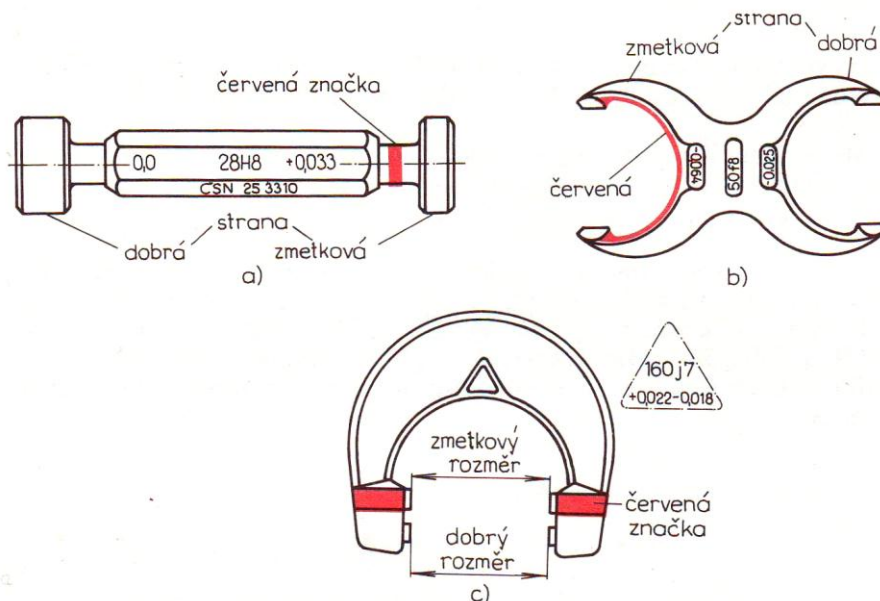
1. **věta** – dobrá strana mezního měřidla (kalibru) nemá zjišťovat skutečný rozměr, ale funkční vhodnost kontrolované plochy.
2. **věta** – zmetková strana mezního kalibru má posuzovat skutečný rozměr a ne, zda kontrolovaná plocha vyhovuje funkčně.

Mezní kalibry se dělí na:

- výrobní (dílenské),
- kontrolní,
- přebírací (zákazník),
- porovnávací (měřidlo na měřidla).

Většina kalibrů má dobrou a zmetkovou stranu, které určují mezní rozměry. Skutečný rozměr dobrého výrobku musí ležet mezi těmito rozměry. Při měření otvorů musí dobrá strana jít zasunout vlastní vahou, zmetková nesmí projít měřeným rozměrem.

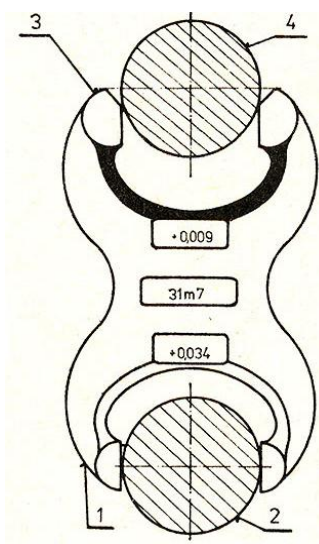
Kalibry se vyrábějí buď oboustranné, nebo jednostranné. Na každém kalibru je vždy vyznačen jmenovitý rozměr, toleranční značka a horní i dolní mezní úchylka v milimetrech. Zmetková strana musí být jednoznačně označena. Je to měření jednoduché a rychlé, proto se používá při sériové výrobě.



Obr. 17 Kalibry: a) oboustranný válečkový kalibr, b) oboustranný třmenový kalibr, c) jednostranný třmenový kalibr

Norma vyžaduje jednoznačné odlišení zmetkové strany od strany dobré, např.:

- barevným označením zmetkové strany,
- sražením hran zmetkové strany,
- zkrácením měřicích ploch zmetkové strany,
- výkružky nebo nákrůžky na zmetkové strany,
- číselným nebo slovním označením.



Obr. 18 Ukázka práce s kalibrem: 1 – dobrá strana kalibru, 2 – kontrolovaná součást na dobré straně kalibru, 3 – zmetková strana kalibru, 4 – kontrolovaná součást na zmetkové straně kalibru



CD-ROM

Video – Použití kalibru

7.4. Číselníkový úchylkoměr



Čas ke studiu: 1 hodinu



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

definovat pojem číselníkový úchylkoměr

popsat číselníkový úchylkoměr

vyřešit měření za pomoci číselníkového úchylkoměru



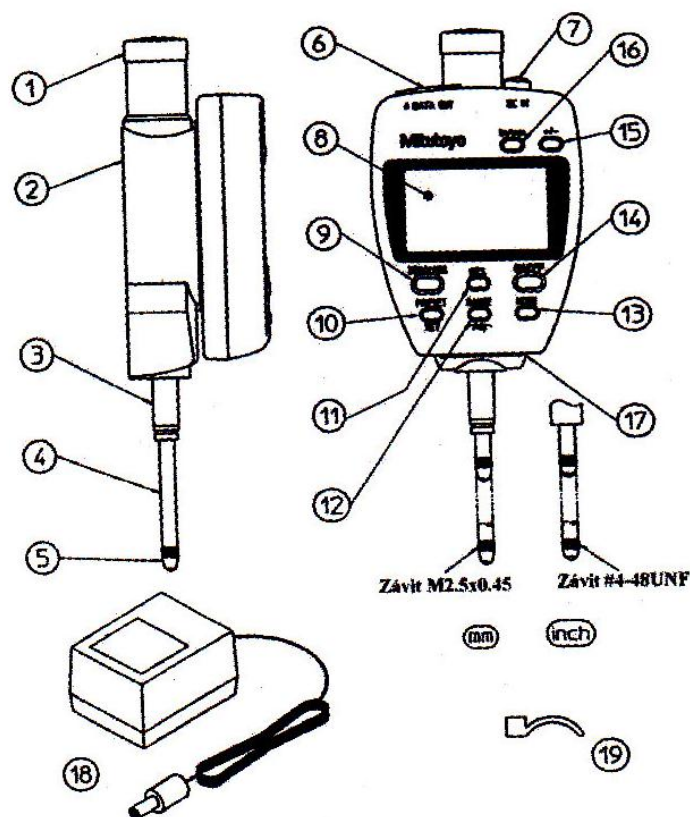
Výklad

Číselníkové úchylkoměry jsou jednoduché měřicí přístroje pro přesné měření malých vzdáleností. Číselníkové úchylkoměry mohou být jednotáčkové, víceotáčkové nebo méně než jednotáčkové.

Protože úchylkoměry mají jen malý zdvih (u setinových je to 10 až 30 mm) používají se převážně na komparační (porovnávací) měření ve spojení s tuhým měřicím stojanem. Nula je na stupnici posouvateľná a proto je možné nastavit relativní nulu ve kterékoliv poloze dotyku.

Číselníkové úchylkoměry s poměrně krátkým zdvihem (3 nebo 10) mm se používají na měření úchylek rozměru a také na kontrolu přímosti, rovnoběžnosti nebo kruhovitosti.

Nejčastěji se používají úchylkoměry s měřicím rozsahem od 0,5 mm do 100 mm. Dělení stupnice bývá (0,001 až 0,01) mm.



Obr. 19 Schéma digitálního úchylkoměru

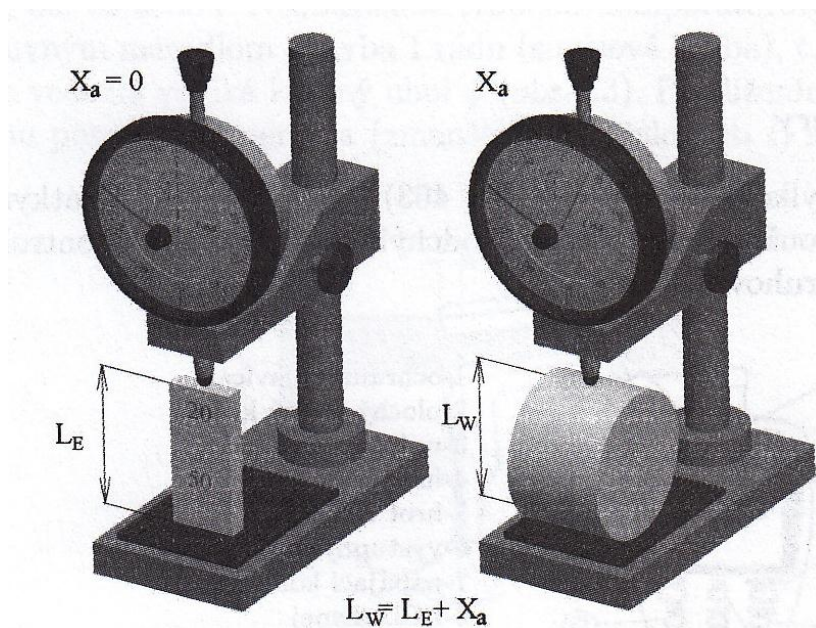
1 – ochranná hlavice, 2 – plochý zadní kryt, 3 – upínací stopka, 4 – měřicí dotyk, 5 – hrot dotyku, 6 – výstupní konektor, 7 – napájecí konektor, 8 – LCD displej, 9 – tlačítka ZERO/ABS (nulování), 10 – tlačítko PRESET/SET, 11 – tlačítko RES, 12 – tlačítko RANGE (nastavení rozsahu), 13 – tlačítko MODE, 14 – tlačítko zap./vyp., 15 – tlačítko +/-, 16 – tlačítko in/mm, 17 – otvor na připojení konektoru, 18 – ac/dc adaptér, 19 – zdvihací páka

Na určení absolutního rozměru součástky pomocí číselníkového úchylkoměru a na jeho seřízení je jako první potřeba nastavit požadovaný předepsaný rozměr pomocí zhmotnělých měr (např. koncových měrek) a potom nastavit ručičku na stanovenou úchylku (kalibrování) obr. 20.

Úchylkoměry jsou vhodné na nepřímé měření, při kterém se délkový rozměr určí výpočtem z hodnoty úchytky obrobku získané měřením.

$$L_w = L_E + X_a$$

Přístroj se nastaví na jmenovitou hodnotu pomocí bloku koncových měrek tak, že na stupnici nebo displeji měřidla je nula. Blok koncových měrek se vymění za měřenou součástku, přičemž se zobrazí naměřená hodnota. Výsledek měření je rovný součtu jmenovité hodnoty L_E (rozměr bloku koncových měrek) a zobrazované naměřené hodnoty úchytky X_a (pozor na znaménko úchytky).



Obr. 20 Měření úchylkoměrem pomocí bloku koncových měrek (vlevo nastavení úchylkoměru, vpravo měření obrobku)

Odečítání hodnoty se skládá ze 3 kroků:

- Určí se hodnota na malé stupnici – hodnota dílku na malé stupnici přičemž, pokud ručička leží mezi dvěma dílky, tak je to dílek s menší hodnotou. Hodnoty dílků bývají celé mm, nebo jejich desetiny.
- Určíme hodnotu na velké stupnici – hodnota dílu na velké stupnici. Hodnoty dílků bývají v setinách mm nebo jejich tisíciny.
- Určení výsledné hodnoty – hodnoty odčítané na malé a velké stupnici sečteme.



CD-ROM

Video – Měření číselníkovým úchylkoměrem

Video – Dvoubodová a třibodová metoda měření

7.5. Koncové měrky



Čas ke studiu: 1 hodinu



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

definovat pojem koncové měrky

popsat koncové měrky

vyřešit měření za pomoci koncových měrek



Výklad

V praxi se používají především jako etalony délky na sestavení a kontrolu měřidel, kalibrů ale i na velmi přesné měření. Koncové měrky se dodávají v celých sadách.

Zhotovené jsou ve tvaru hranolu pravoúhlého průřezu s dvěma rovinnými, navzájem rovnoběžnými měřicími plochami. Hodnota délky (vzdálenost) je daná vzdáleností protilehlých koncových ploch dané měrky. Nejpresnější koncové měrky se vyrábí z keramických materiálů. Mají velmi přesný lapovaný povrch a vyznačují se vysokou rozměrovou stálostí a vysokou přílnavostí. Chyba měření pomocí koncových měrek je do značné míry daná přesností vyhotovení měřicích ploch, přesností dodržení jmenovité vzdálenosti pracovních ploch měrky, rovnoběžností, rovinností a kvalitou povrchu měřicích ploch.



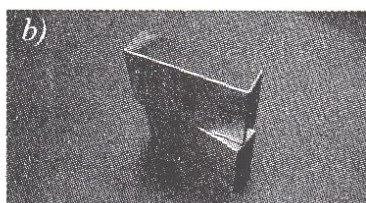
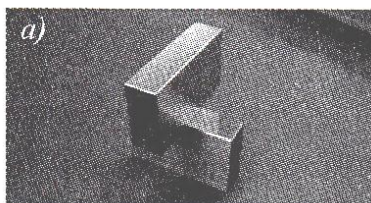
Obr. 21 Sada koncových měrek

Koncové měrky se vyrábí ve čtyřech stupních přesnosti. Nejpresnější jsou měrky stupně 00 s dovolenou chybou $\pm 0,00005$ mm, které se používají jenom jako laboratorní etalony. Následuje stupeň 0, 1 a 2. Koncové měrky stupně 0 mají dovolenou chybu $+ 0,00010$ mm a $- 0,00005$ mm a používají se ke kalibraci. Koncové měrky stupně 1 se používají ke kontrole a mají dovolené chyby od $+ 0,00015$ mm do $- 0,0005$ mm. Koncové měrky stupně 2 se používají především jako pracovní měrky a dovolené chyby jsou od $+ 0,00025$ do $- 0,00015$ mm. Každá koncová měrka ze sady má svůj certifikát, na kterém jsou vyznačené údaje týkající se přesnosti výroby.

7.5.1. Postup při sestavení koncových měrek

Sestavení koncových měrek z dvou robustních koncových měrek:

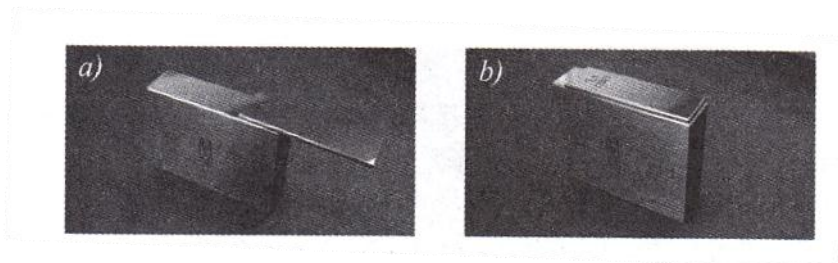
- koncové měrky přiložíme na sebe měřicími plochami kolmo vůči sobě (obr. 22a),
- opatrným pootáčením a jemným přitlačením je navzájem spojíme (obr. 22b),
- postupně zarovnáваме jejich hrany do jedné roviny (obr. 22c).



Obr. 22 Sestavení koncových měrek – dvě robustní měrky

Sestavení robustní koncové měrky s tenkou koncovou měrkou:

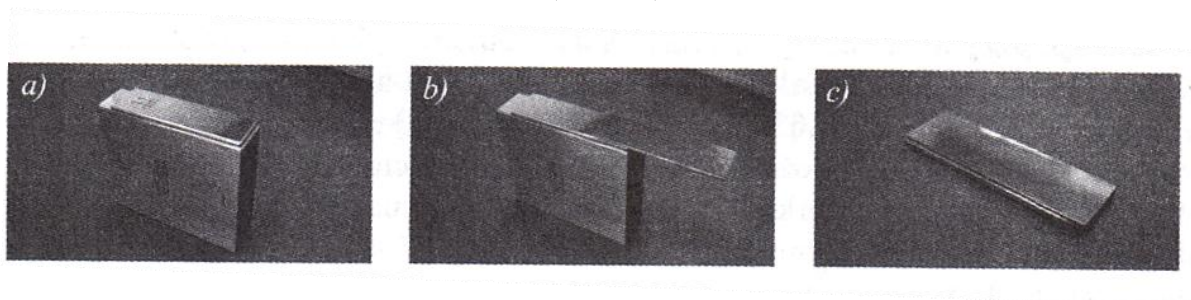
- konec tenké koncové měrky položíme na konec robustní koncové měrky (obr. 23a),
- rovnoměrně posouváme a jemně přitlačíme tenkou koncovou měrku, dokud se měřené plochy neshodují (obr. 23b).



Obr. 23 Sestavení koncových měrek – robustní a tenká koncová měrky

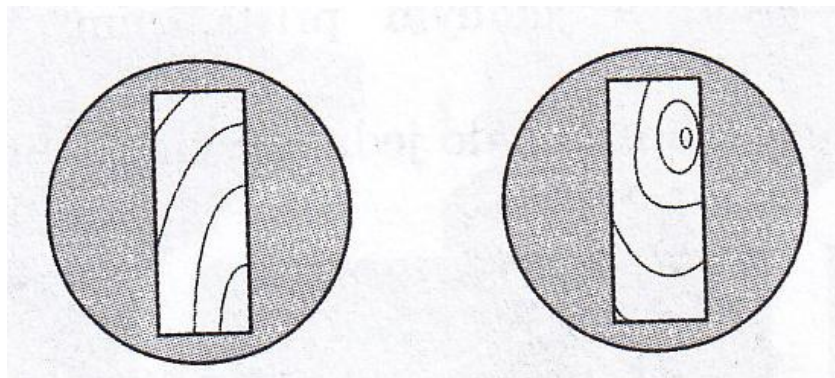
Sestavení dvou tenkých koncových měrek:

- abychom se vyhnuli prohnutí tenké koncové měrky, použijeme robustní koncovou měrku jako oporu (obr. 24a),
- další tenkou koncovou měrku z jednoho konce rovnoměrně posouváme a jemně přitlačíme na tenkou měrku (obr. 24b),
- na závěr odebereme robustní koncovou měrku (obr. 24c).



Obr. 24 Sestavení koncových měrek – dvě tenké koncové měrky

Koncové měrky se kontrolují pomocí interference světla. Doporučuje se použít monochromatické světlo, které vytváří ostře ohraničené světlé a tmavé pruhy. Pokud je měřená plocha úplně rovinná s interferenčním sklem, získáme přímočaré rovnoběžné proužky. V případě chyby tvaru získáme různé tvary interferenčních proužků.



Obr. 25 Zobrazení interferenčních proužků



Obr. 26 Ukázka poskládaných koncových měrek



CD-ROM

Video – Použití koncových měrek



Shrnutí kapitoly

Přímá metoda měření – je to metoda, při níž je hodnota vyšetřované veličiny získána přímo v příslušných jednotkách. Není třeba u ní provádět výpočty.

Nepřímá metoda měření – je to taková metoda měření, při které z nějakého důvodu nemůžeme zjistit přímo hodnotu vyšetřované veličiny. Ke zjištění vyšetřované hodnoty je třeba provádět výpočty.

Komparační (porovnávací) metoda měření – tato metoda je založena na porovnávání hodnoty vyšetřované veličiny se známou hodnotou jiné veličiny téhož druhu. Komparační metody mohou být přímé nebo nepřímé. Měřicí prostředky, které aplikují komparační měřicí metody se nazývají komparátory.



Kontrolní otázka

- O 7.1 Vyjmenuj základní délková měřidla.
- O 7.2 Jaké znáte druhy kalibrů?
- O 7.3 V kolika stupních přesnosti se vyrábí koncové měrky?

8. METROLOGIE ROVINNÉHO ÚHLU

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- Jednotky, ve kterých se úhel měří.
- Ovládat jednotlivé metody měření rovinného úhlu.
- Popsat jednotlivá měřidla a vysvětlit jejich princip.

Budete umět

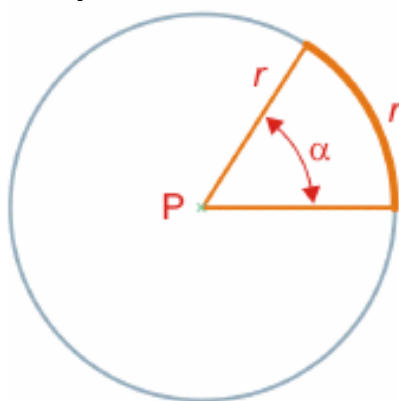
Budete schopni:

- Změřit rovinný úhel různými metodami.

Budete schopni

Podle normy ISO 31-1:1993 se **rovinný úhel** definuje jako poměr délky vyseknutého oblouku kružnice (se středem v uvedeném bodě) k jeho poloměru. Většinou se značí řeckými písmeny, např. α , β , γ , ϑ , ϕ apod. Rovinný úhel je úhel mezi dvěma polopřímkami vedenými ze stejného bodu. Jednotkou rovinného úhlu je radián, používá se pro něj značka **rad**.

Radián je definován jako středový úhel, který přísluší oblouku o stejné délce, jako je poloměr kružnice viz obr. 6.1. Je to jednotkový úhel při měření v obloukové míře. V soustavě SI se radián používá jako doplňková jednotka.



Obr. 27 Definice jednotky pro rovinný úhel, r – velikost úhlu v radiánech, α ve stupních.

Mimo této jednotky se používá i jednotka stupeň. Stupeň (přesněji úhlový stupeň) jako úhlová míra rovinného úhlu bývá značená obvykle „°“. Může se dělit na uhlové minuty (značka ') a uhlové sekundy (značka ''), mezi těmito jednotkami platí vztahy:

$$1' = (1 / 60)^\circ$$

$$1'' = (1 / 60)' = (1 / 3600)^\circ$$

Norma ISO 31-1: 1993 doporučuje, aby se stupeň dělil dekadicky, než by se měl dělit na minuty a sekundy.

Definice: $\alpha = (r \cdot 180^\circ) / \pi$

$$1^\circ = (\pi / 180^\circ) \text{ rad} \approx 1,745 \times 10^{-2} \text{ rad}$$

$$1 \text{ rad} = (180^\circ / \pi) \approx 57,296^\circ \approx 57^\circ 17' 45''$$



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Jaké jsou metody měření úhlů.
- Jak se rozdělují metody měření úhlů.
- Jaké jsou typy úhelníků a jak se s nimi měří.
- Jaké jsou typy úhloměrů.
- Na jakém principu pracují.
- Jak se s nimi měří.
- Co jsou to úhlové měrky a jak se s nimi pracuje.
- Jaké jsou typy vodvah a jak se s nimi pracuje.
- Co je to sinusové pravítko.
- Na jakém pracuje principu.
- K čemu se používá.
- Co je to profilprojektor.
- Jaké jsou metody promítání obrazu a k čemu se používá.



Výklad

8.1. Principy měření

Měření úhlů je obecně náročnější než měření délkových rozměrů. Volba měřicí metody v praxi závisí od způsobů definice úhlu, od požadavků kladených na přesnost měřidla, od různorodosti měřených objektů, apod. V zásadě jsou všechny metody měření úhlů založeny na porovnání měřeného úhlu s určitým známým úhlem, nebo se měří veličina (např. délka), která je s měřeným úhlem ve funkční vazbě.

Z praktického hlediska rozdělujeme metody měření úhlů do dvou skupin:

- přímé metody,
- nepřímé (trigonometrické) metody.

Přímé metody – porovnává se velikost úhlu se známou hodnotou měrky, nebo úhloměrnou stupnicí. Úhloměrná stupnice je v kruhové míře, nebo její částí a bývá součástí měřicího přístroje. Nejistota měření závisí na dovolené chybě úhlové měrky a od určení úchylky měřeného objektu. Většinou se využívají mechanická nebo optické měřidla. V některých případech se používá pomocné měřidlo, např. číselníkový úchylkoměr. Přímé metody jsou kvůli své jednoduchosti nejrozšířenější.

Mezi přímá měřidla můžeme zařadit:

- úhlové měrky,
- úhelníky,
- úhloměry,
- vodováhy,
- profilprojektory,

Nepřímé metody (trigonometrické) - využívají závislosti platné v goniometrických funkcích. Principem je měření jiných veličin a neznámý úhel se vypočítá z goniometrických funkcí (sinus, cosinu, tangent a kotangent). Měřením pomocí trigonometrických metod lze dosáhnout nízké nejistoty měření.

Mezi měřidla na tomto principu můžeme zařadit:

- sinusové pravítko,
- tangentové pravítko.

8.2. Úhelníky

Úhelníky jsou jednoduché úhlové měrky na měření úhlu. Nejčastěji bývají s úhlem 90° , ale vyrábějí se i pod úhlem 30° , 45° , 120° apod. Jedná se o nenastavitelná měřidla, která se dodávají v různých velikostech a vyhotoveních. Používají se na kontrolu kolmosti a na orýsování. Jejich přesnost se definuje jako odklon ramena určité délky od absolutní velikosti jmenovitého úhlu. Vyrábějí se ve 4 třídách přesnosti. V technické praxi se využívají různé tvary úhelníků. Podle konstrukce se dělí na:

- ploché,
- příložné,
- nožové,
- kontrolní,
- s upínacími zářezy,
- jiné.

Plochý úhelník, ve tvaru L (viz obr. 2 a), patří mezi nejčastěji používané a slouží na kontrolu a orýsování.

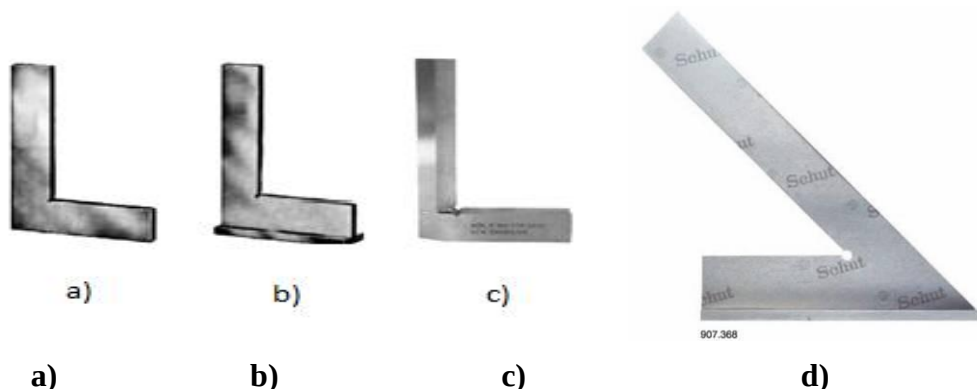
Příložný úhelník je velmi přesný, obsahuje příložnou část, která pomáhá při zpřesnění kontroly a to tak, že se příložná část přiloží na doraz k měřené součásti (viz obr. 2 b).

Nožový úhelník (viz obr. 2 c), se používá na přesnou kontrolu. Průsvitem je možné kontrolovat odchylky kolmosti a lze jím kontrolovat i broušené plochy. Nožové hrany jsou broušené a lapované, jsou kalené a bez vnitřních pnutí. Vyrábějí se z nerezové oceli.

Kontrolní úhelník je tužší jako dílenský, vyrábí se z perličkové litiny a např. při délce 300 mm má povolenou odchylku pouze $\pm 0,01$ mm.

Ramena pravoúhlých úhelníků musí být kolmá i v poloze otočené o 90° . Měření kolmosti a zároveň rovinnosti se kontroluje průsvitem světla mezi ostřím úhelníku a měřeným předmětem. Dovolená odchylka kolmosti úhelníku se udává vždy vzhledem k dané výšce ramene. Např. dílenský úhelník má dovolenou odchylku $\pm 0,05$ mm na délce 300 mm.

K měření úhlů se využívá i jiných úhelníků, které se liší tvarem, přesností, materiálem, cenou, apod.



Obr. 28 Úhelníky [www.meridla-nastroje.cz]
a) plochý, b) příložný, c) nožový d) pod úhlem 45°

8.3. Úhloměry

Mechanické úhloměry patří k základnímu vybavení zámečnických dílen. Pro svoji univerzálnost jsou využívány při nastavování a orýsování úhlů. Na běžné měření postačí ploché úhloměry s jednoduchým provedením, které mají dělené stupnice od 0° do 180° , popř. až do 360° . Dělení stupnice bývá většinou s krokem $30'$. Můžeme sem zařadit mechanické a digitální úhloměry, kdy se liší odčítáním naměřených výsledků – manuálně nebo digitálně.

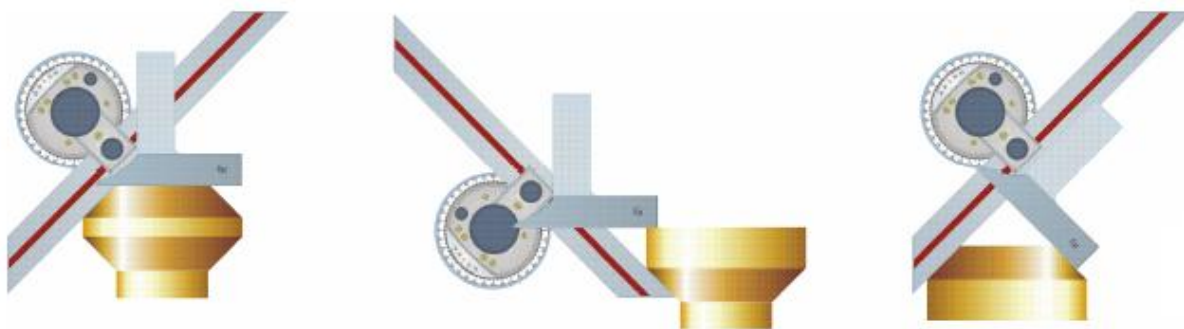
Univerzální úhloměr (viz obr. 3 a) má schopnost změřit libovolný úhel s nejistotou menší než $5'$. Skládá se z pevného a pohyblivého pravítka. Na pevném rameni je pod pravým úhlem umístěn pevný kotouč, rozdělený $4 \times$ po 90° po 1° . Hrany ramena úhloměru jsou rovnoběžné s nulovými ryskami stupnice na tomto kotouči. Pevné a pohyblivé rameno se těsně přikládají k měřené ploše a jejich správné uložení se kontroluje průsvitem. Naměřený úhel se odečítá na stupnici (nonius), která je součástí pohyblivého kotouče. Pohyblivé rameno se otáčí kolem osy pevného kotouče a po nastavení úhlu se zafixuje maticí. Příklady měření a použití univerzálního úhloměru jsou na obr. 4.

Digitální úhloměr (viz obr. 3 b) má na pevném rameni uloženou elektronickou snímací jednotku, která pomocí naklápění umožňuje měření ve stupních a minutách, nebo v desetiné soustavě. Úhly se vyhodnocují třemi způsoby – $4 \times 90^\circ$, $2 \times 180^\circ$ nebo $1 \times 360^\circ$, přičemž nejistota měření dosahuje $1,15'$ nebo $0,01^\circ$. Pohyblivé rameno má délku 150, 200, 300 nebo 500 mm. Výhodou digitálního úhloměru je, že umožňuje nulování v libovolném natočení, nebo ho lze upevnit do stojanu a tím doplnit rameno v závislosti zda se jedná o měření malých nebo velkých úhlů, popř. vnitřních úhlů.



Obr. 29 Úhloměry a) univerzální, b) digitální [<http://www.microtes.cz>]

Optický úhloměr (viz obr. 5), je svou konstrukcí podobný jako mechanický úhloměr, ovšem odečítání, probíhá pomocí okuláru. Při natočení úhloměru na světlo se v okuláru zobrazí stupnice, pomocí níž je možné odečítat úhel na desítky minut ($1/6$ stupně).



Obr. 30 Příklady měření univerzálním úhloměrem



strojní (přesná)

křížová

rámová

Obr. 33 Typy vodovah [www.euronaradie.sk, www.sometcz.com]

Vyrábějí se i vodováhy optické, u kterých se odčítá hodnota v okuláru nebo digitální (obr. 8).



Obr. 34 Digitální vodováha [www.whp.cz]

8.6. Sinusové pravítko

Sinusové pravítko (viz obr. 9), je přesně vyrobená součást, která se využívá pro přesné nastavení úhlu horní roviny pravítka. Nejčastěji se jimi měří na nepřímě měření sklonu na součástech jako klíny nebo kužely a na nastavení přesného naklopení obráběného materiálu při výrobě. Dále se mohou využít pro kontrolu přesnosti úhloměrných měřidel.

Při měření se sinusové pravítko známé délky klade jedním válečkem na rovnou kontrolní desku. Požadovaný úhel se vytvoří seskládáním základních rovnoběžných měrek po druhý váleček. Sinus vytvořeného úhlu je definovaný poměrem délky z měrek a vzdálenosti mezi válečky. Díky vysoké přesnosti tvaru a rozměrů funkčních ploch je možné získat přesné nastavení úhlu. Dovolená odchylka rozestupu válečků, tolerance válečků a vzdálenost mezi válečky je $\pm 1\mu\text{m}$. Na výpočet se používají základní trigonometrické vztahy při řešení pravoúhlého trojúhelníka. Lze měřit součásti rozličných velikostí. Proto jsou vzdálenosti válečků odstupňovány a používají se délky 100, 200 a 300 mm, ve speciálních případech i delší.



Obr. 35 Sinusové pravítka [www.sav-czech.cz]

8.7. Profilprojektory

Profilprojektor (obr. 10) je optický přístroj, který promítá obraz reálné součásti na matnici nebo promítací plochu. Často se používá na kontrolu tvarově složitých součástí, popř. na kontrolu malých rozměrů. Zvětšení projektorů bývá 10x až 100x, ve speciálních případech až 1000x. Kontrolované součásti je možno pozorovat v odraženém (episkop) nebo procházejícím (diaskop) světle, popř. v kombinaci obou. Chyba zvětšení by neměla přesáhnout 1,5%. Zvětšený obraz je možno přeměřovat nebo kontrolovat pomocí šablon se jmenovitým tvarem a tolerančními hranicemi, které slouží pro porovnání. Tento způsob kontroly je velmi rychlý. Diaprojekce (pozorování procházejícím světlem) je častěji používaná metoda, ale je vhodná spíše pro ploché součástky. Obrys součásti se promítne na matnici jako stínový obraz. Při epiprojekci (pozorování odraženým světlem) je potřebné osvětlit kontrolovanou stranu silným zdrojem světla ze strany objektivu. Je to metoda vhodná pro plochy kolmé k optické ose. Podmínkou dobrého obrazu je, aby pozorovaná součást dobře odrážela světlo. Na matnici se promítá zvětšený obrazcem plochy součásti. Při kombinaci obou metod můžeme vidět obrys i povrch součásti současně.



Obr. 36 Profilprojektor [www.mitutoyo.cz]



Shrnutí kapitoly

Úhelník, úhloměr, úhlové měrky, vodováhy, profilprojektory, sinusové pravítko. Úhelník, nožový, příložný, plochý, kontrolní. Universální úhloměr, digitální úhloměr, optický úhloměr. Úhlové měrky, etalon úhlu. Optická vodováha, přesná (strojní) vodováha, křížová vodováha, rámová vodováha. Sinusové pravítko. Profilprojektor, diaprojekce, epiprojekce.



Kontrolní otázky

- O 8.1 V jakých jednotkách lze měřit úhel?
- O 8.2 K čemu jsou určeny úhlové šablony?
- O 8.3 Jaké známe úhloměry?
- O 8.4 K čemu slouží sinusové pravítko?
- O 8.5 Na jakém principu fungují kapalinové libely?
- O 8.6 K čemu slouží úhelník a jaký je princip měření?

9. KONTROLA DRSNOSTI POVRCHU

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- Vyjmenovat geometrické parametry povrchu.
- Rozlišit parametry drsnosti.
- Metody měření parametrů drsnosti.

Budete umět

Budete schopni:

- Popsat jednotlivé parametry drsnosti.
- Měřit jejich velikost.

Budete schopni

Při použití jakékoliv technologické metody vzniká na povrchu technických ploch nerovnost, která má velký význam při funkci těchto ploch. Protože povrch představuje prostorový útvar, problém posuzování nerovností se řeší redukcí do roviny řezu rovinou kolmou k povrchu. Tím se získá profil, který je základním zdrojem informací.



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- definovat strukturu povrchu
- rozeznat výškové, šířkové a tvarové parametry
- měřit parametry drsnosti různými metodami



Výklad

9.1. Struktura povrchu

Rozteč příslušných nerovností charakterizuje strukturu povrchu a dělí ji na složky. Složka s nejmenší roztečí tvoří drsnost povrchu, dále existuje složka nazvaná vlnitost povrchu a největší rozteč nerovností určuje základní profil. Geometrické parametry definované normou ISO 4287:

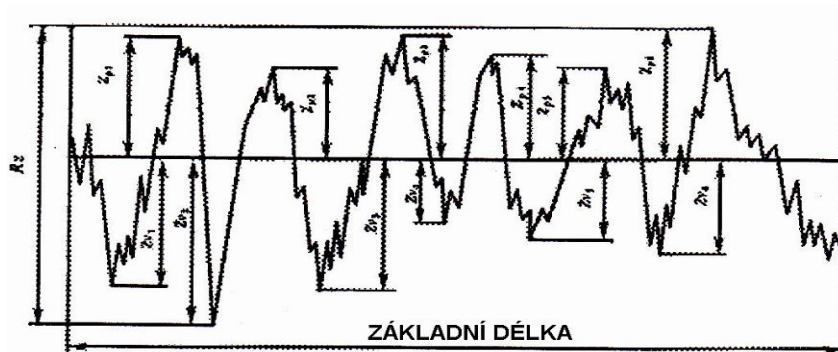
- R – parametr vypočítaný z profilu drsnosti,
- W – parametr vypočítaný z profilu vlnitosti,
- P – parametr vypočítaný ze základního profilu.

Základní délka l_r – délka ve směru osy x používaná pro rozpoznání nerovností charakterizující daný profil.

Vyhodnocovaná délka l_n – délka ve směru osy x na které se profil vyhodnocuje. Existují 3 základní parametry, na jejichž základě se hodnotí drsnost povrchu:

- výškové parametry,
- délkové parametry,
- tvarové parametry.

9.1.1. Výškové parametry

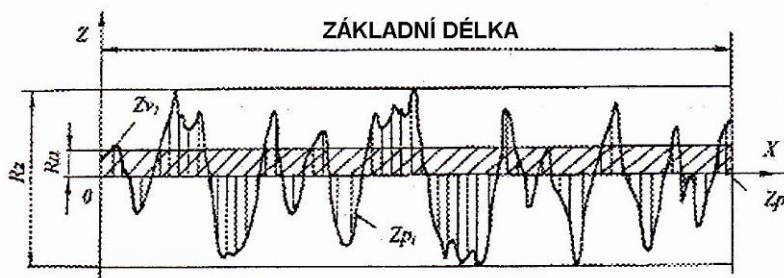


Obr. 37 Parametry R_v , R_p , R_z

Největší výška výstupku R_p – největší výška výstupku profilu Z_p v rozsahu základní délky.

Největší hloubka prohlubně profilu R_v – největší hloubka prohlubně profilu Z_v v rozsahu základní délky.

Největší výška profilu R_z – součet největší výšky profilu Z_p a největší hloubky profilu Z_v v rozsahu základní délky.



Obr. 38 Parametr R_a

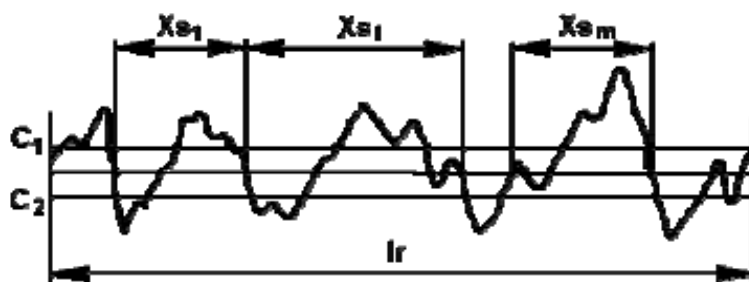
Střední aritmetická úchylka profilu R_a – aritmetický průměr absolutních hodnot $Z(x)$ v rozsahu základní délky. Tato hodnota nevypovídá zcela přesně o dané drsnosti, protože R_a nereaguje citlivě na extrémní výšky a hloubky měřeného profilu.

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx$$

Průměrná kvadratická úchylka profilu R_q – průměrná kvadratická hodnota odchylek $Z(x)$ profilu v rozsahu základní délky. Parametr R_q má význam při statistickém pozorování profilu povrchu, neboť zároveň odpovídá standardní odchylce z profilových souřadnic.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z(x)^2 dx}$$

9.1.2. Délkové (šířkové) parametry



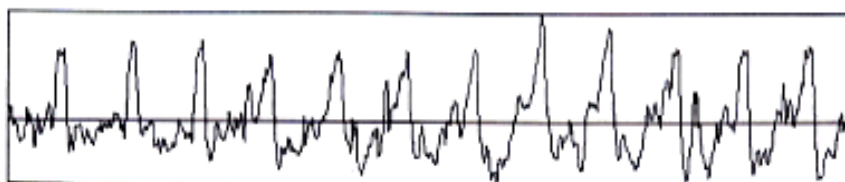
Obr. 39 Parametr RSm

Průměrná vzdálenost prvků profilu RSm – průměrná hodnota šířek Xs profilu v rozsahu základní délky.

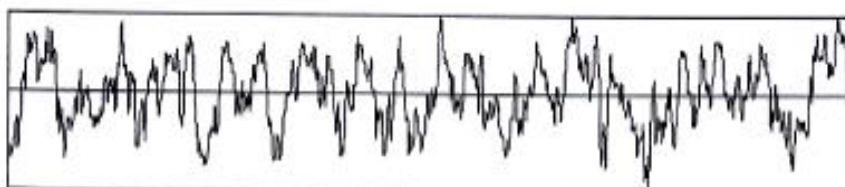
$$RSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Xs_i$$

9.1.3. Tvarové parametry

Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu $R\Delta q$ – průměrná kvadratická hodnota sklonů dZ/dX v rozsahu základní délky. Tento parametr je důležitý při hodnocení tribologických vlastností, odrazu světla nebo galvanickém pokovování.



Obr. 40 Profil drsnosti soustruženého povrchu



Obr. 41 Profil drsnosti broušeného povrchu

9.2. Měření drsnosti povrchu

9.2.1. Porovnáním s etalony drsnosti

Při této metodě se porovnává povrch buď okem, nebo mikroskopem. Tato metoda je již svou podstatou nepřesná (porovnává a vyhodnocuje odlišné parametry) a hraje zde velmi důležitou roli schopnost zkušenost metrologa.

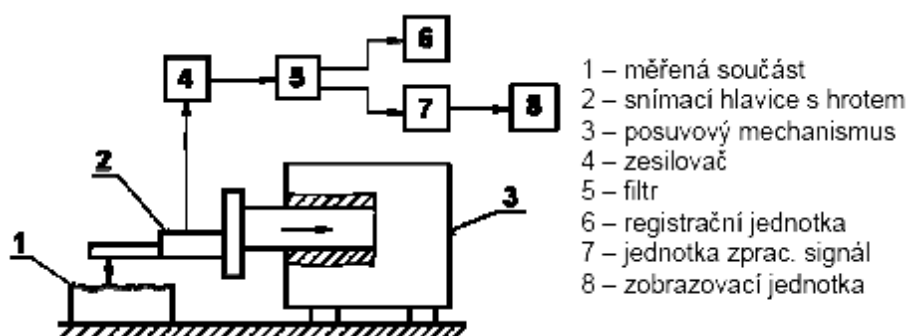
Podmínky, které je důležité dodržovat při použití této metody:

- stejný materiál etalonu a součásti (stejná by měla být alespoň barva),
- tvar povrchu součásti a etalonu by měl být stejný (plochý, vypuklý,...),
- musí být použita stejná trajektorie obrábění povrchu etalonu a součásti,
- stejné podmínky pozorování (světlo).

9.2.2. Pomocí dotykových profilometrů

Při použití této metody se přímo odečítají číselné hodnoty jednotlivých parametrů drsnosti. Využívá se pro nejmodernější statistické a spektrální hodnocení nerovnosti povrchu. Dotykový profilometr má 2 základní části:

- mechanickou,
- elektronickou.



Obr. 42 Princip měření dotykovým profilometrem



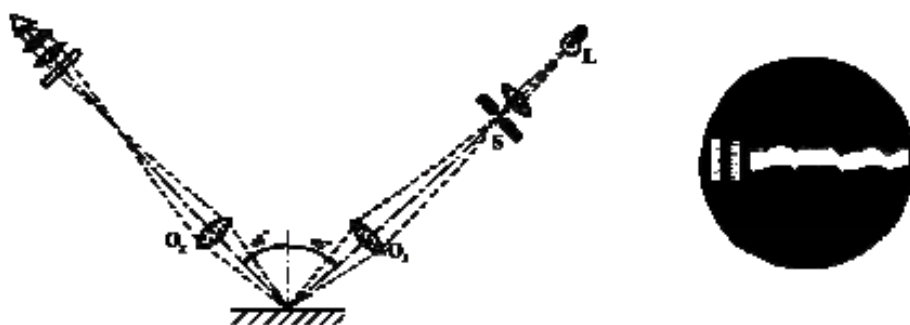
Obr. 43 Mitutoyo SurfTest SJ201

9.2.3. Metodou světelného řezu

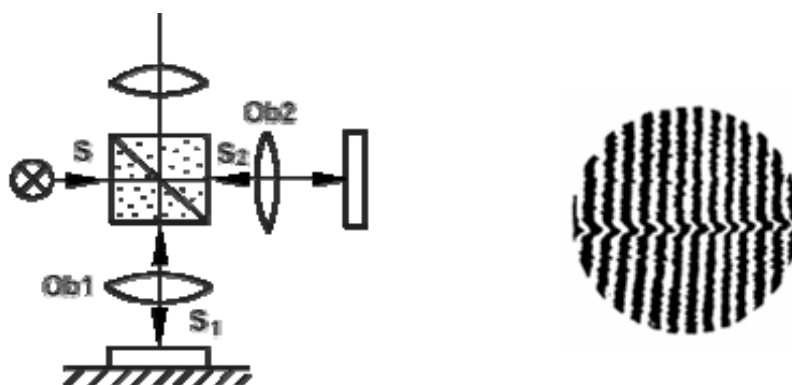
Pro určování drsnosti touto metodou se nejčastěji používá dvojitý mikroskop Schmaltz. Velmi tenký paprsek dopadá na měřený povrch pod úhlem 45°. Odrazem od nerovnosti vzniká obraz profilu v poli mikroskopu.

9.2.1. S využitím interference světla

Paprsek prostupuje přes polopropustné zrcadlo a to jej rozdělí na 2 části. Část S1 pokračuje dále na měřený povrch a zpátky do okuláru a druhá část S2 se odrazí od zrcadla přímo zpět do okuláru. Tam paprsky interferují (spojí se) a získáme obraz povrchu.



Obr. 44 Metoda světelného řezu – principi a obraz v okuláru



Obr. 45 Interferenční mikroskop (vlevo), obraz v okuláru přístroje (vpravo)



Shrnutí kapitoly

Struktura povrchu, drsnost povrchu, výškové parametry, šířkové parametry, tvarové parametry, etalony drsnosti, dotykový profilometr, světelný řez, interference světla.



Kontrolní otázka

- O 9.1 Co je to R_a ?
- O 9.2 Co je to R_z ?
- O 9.3 Co je to R_q ?
- O 9.4 Co je to R_v ?
- O 9.5 Co je to R_p ?
- O 9.6 Co je to základní délka l_r ?
- O 9.7 Co je to vyhodnocovaná délka l_n ?
- O 9.8 Co je to R_{Sm} ?
- O 9.9 Jaké geometrické parametry definuje norma ČSN EN ISO 4287?
- O 9.10 Jaké znáte metody měření drsnosti povrchu?

10. KONTROLA ZÁVITŮ

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- Popsat a definovat závit.
- Vysvětlit funkci a princip závitu.
- Aplikovat různé měřicí metody pro kontrolu závitu.

Budete umět

Budete schopni:

- Změřit parametry vnějšího závitu.
- Změřit parametry vnitřního závitu.
- Měřit malý, střední a velký průměr závitu.
- Měřit stoupání a vrcholový úhel závitu.

Budete schopni

Pro kontrolu závitů vnějších i vnitřních byla vyvinuta řada metod měření a s tím související řada různých mechanických, optických, popř. kombinovaných měřících přístrojů.

Základní parametry závitů jsou (velká písmena platí pro závit vnitřní):

d, D – velký průměr

d₂, D₂ – střední průměr

d₁, D₁ – malý průměr

α - úhel profilu

P – rozteč

Nepřesnosti provedení závitů měříme buď komplexně (souhrnně) nebo jednotlivé parametry (díličí kontrola). V sériové a hromadné výrobě kontrolujeme závity nejčastěji komplexně, kdy zjišťujeme, zda skutečné parametry závitu se nacházejí v tolerančním poli závitu. K této kontrole používáme závitové kalibry.



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Kontrolovat střední průměr, rozteč a úhel profilu bezdotykovou metodou pomocí dílenského mikroskopu.



Výklad

10.1. Metody kontroly závitů

Metody kontroly závitů dělíme:

- kontrola komplexní (souhrnná – závit je kontrolován jako celek). Tato kontrola se používá v sériové a hromadné výrobě, kde závity kontrolujeme komplexně, kdy zjišťujeme, či se skutečné parametry závitu a nacházejí v tolerančním poli. K této kontrole používáme závitové kalibry.
- kontrola parametrická (dílčí kontrola) – jednotlivé parametry závitu jsou kontrolovány samostatně.

Vzhledem k prostorové dispozici závitu rozlišujeme kontrolu:

- šroubů – vnějších závitů,
- matic – vnitřních závitů.

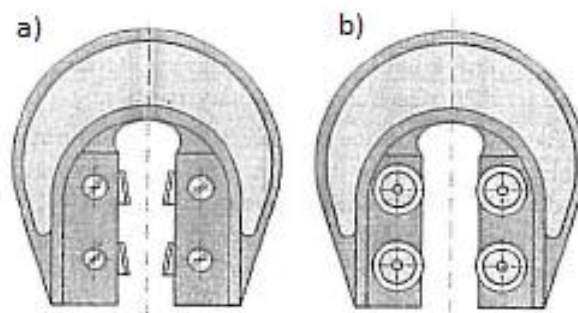
Pro kontrolu závitů vnějších a vnitřních byla vyvinutá řada metod měření a s tím související řada různých mechanických, optických, popřípadě kombinovaných měřicích přístrojů.

10.2. Kontrola vnějších závitů

10.2.1. Komplexní kontrola

Kontrola se uskutečňuje za pomoci:

- pevných závitových kroužků – dobrá strana (DS) závitového kroužku se musí lehce šroubovat,
- třmenových kalibrů (obr. 20) – dobrá strana (DS) závitového třmenového kalibru, musí lehce projít vlastní hmotností kontrolovaného závitu.



Obr. 46 Mezní závitové třmenové kalibry

a) hřebíkový b) rolničkový kalibr

Splněním podmínek se zaručí, že střední průměr závitu d_2 nepřekročí horní mezní rozměr (HMR), a chyby stoupání P a úhlu boku závitu α jsou vyrovnány s příslušným zmenšením d_2 .

10.2.2. Měření (kontrola) rozteče (stoupání) P

Měření rozteče je důležitá veličina a to z pohledu výroby a z hlediska přesnosti některých zařízení. Stoupání závitu je definováno jako axiální pohyb středu boku závitu vztahovaný na osu závitu a odpovídající jedné celé otáčce tohoto boku. Měří se na profilu závitu od jednoho boku závitu ke druhému o stejné orientaci, nebo od středu ke středu závitové drážky.

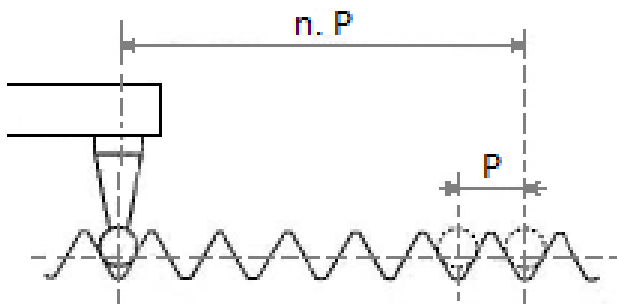
Pro kontrolu rozteče používáme následující měřicí přístroje:

Hřebínkové šablony – je to rychlá kontrola informativního charakteru (přiložením hřebínkové šablony na šroub), viz obr. 21. Jsou vhodné pro dílenský provoz a umožňují rychlou kontrolu během výroby.



Obr. 47 Hřebínkové šablony pro kontrolu stoupání závitu

Standardní přístroje - na měření délek, vybavené kuličkovými dotyky, které používáme pro přesnější měření (obr. 22).



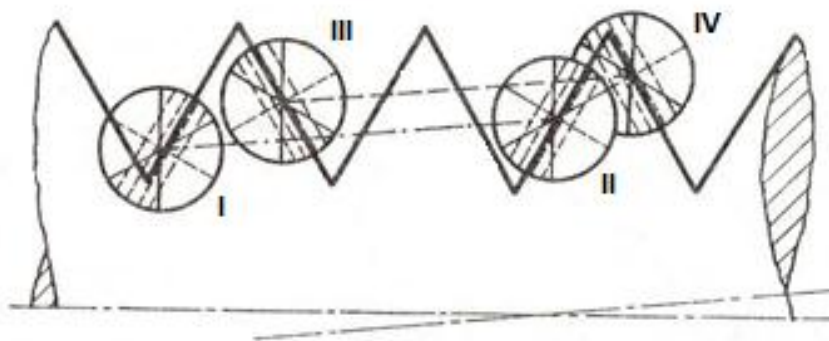
Obr. 48 Schéma měření stoupání na délkovém měřidle pomocí kuličkových měřicích dotyků

Dílenský (univerzální) mikroskop – používá se pro přesné měření rozteče závitů, které se provádí na mikroskopu s použitím úhlového okuláru.

Kontrola měření pomocí metod:

- **světelného řezu** - v mikroskopu se nastaví stínový obraz závitu. Měření je možno provést na sousedních bocích (1 rozteč), nebo je možno měřit přes několik závitů a výslednou hodnotu podělit jejich počtem,
- **osového řezu**, princip odměřování je stejný, s tím rozdílem že se na boky závitů přikládají měřicí nožíky.

Princip měření: - vychází se ze základní polohy nitkového kříže, kde jeho střed se nastaví na jeden závit a odčítá se jeho příslušná hodnota v podélném směru, stínový obraz se přesune na druhý bok a odčítá se naměřená hodnota kontrolovaného závitu. Naměřené hodnoty se odčítají na podélných saních. Výsledná naměřená hodnota je průměrná hodnota ze všech měření.



Obr. 49 Schéma měření rozteče (stoupání) metodou stínového obrazu

Vztahy pro výpočet rozteče [mm]:

$$P_{(levé)} = II - I \quad (\text{levá strana boku závitu})$$

$$P_{(pravé)} = IV - III \quad (\text{pravá strana boku závitu})$$

Výsledná naměřená hodnota (měření se provede přes 2 závity, viz schéma měření):

$$P = \frac{P_{(levé)} - P_{(pravé)}}{4} \quad [mm]$$

nebo:

$$2P = \frac{(II - I) + (IV - III)}{2} \quad [mm]$$

Nejistota měření metodou stínového obrazu:

dílenský mikroskop: $U \cong \pm \left(7 + \frac{3P}{100} \right) \quad [\mu m]$

univerzální mikroskop: $U \cong \pm \left(4 + \frac{3P}{100} \right) \quad [\mu m]$

10.2.3. Měření (kontrola) středního průměru závitu

Střední průměr závitu se kontroluje měřidly, podle požadované přesnosti:

- **mikrometrickými** – na měření se využívají speciálně upravené dotyky ve formě vyměnitelných závitových čelistí, které jsou odstupňované podle stoupání, nebo použitím měřicích drátků,
- **délkoměry** – použitím měřicích drátků,
- **mikroskopy** – měření na mikroskopech se uskutečňuje ve formě světelného, nebo osového řezu za pomoci uhlového okuláru.

10.2.4. Třídrátková metoda

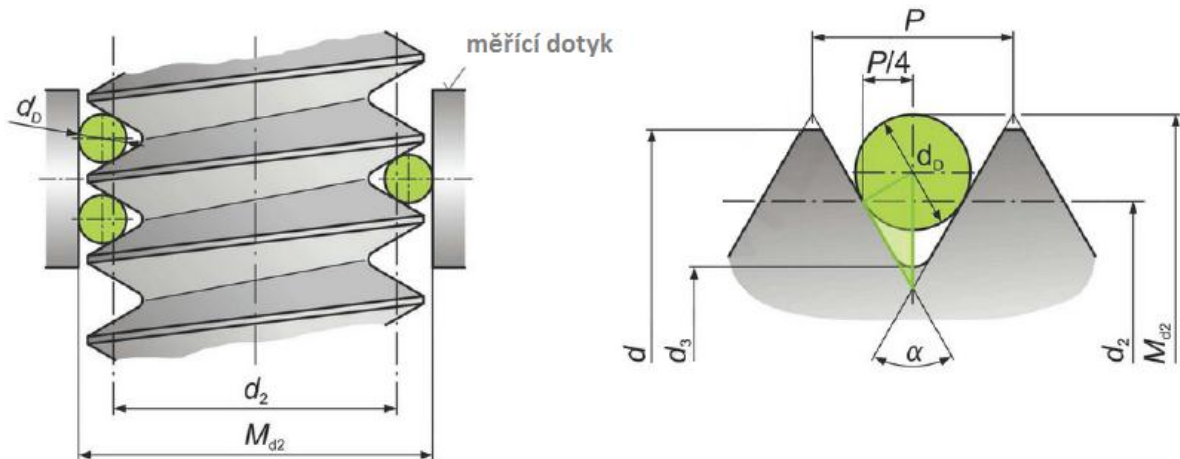
Je definovaná jako nepřímé měření, při kterém se zjišťuje střední průměr závitu za pomoci tří drátků - tzv. rozměr přes drátky (obr. 24). Jedná se o normalizovanou metodu.

Kontrola měřidly (závisí od požadované přesnosti):

- mikrometrem - který je přizpůsoben k měření na stojánku, schéma měření je zobrazena na obr. 25,

- univerzálním délkoměrem – schéma měření je uvedeno na obr. 26.

Princip měření: Pro daný typ závitu na základě rozteče se vyberou příslušné drátky o průměru d_d (hodnoty jsou tabulkové), potom se délkovým měřidlem (mikrometrem nebo univerzálním délkoměrem) změří rozměr přes drátky Md_2 a vypočítáme střední průměr závitu d_2 .



Obr. 50 Schéma měření středního průměru metrického závitu trojdrátkovou metodou

Vztah pro výpočet průměru drátku:

$$d_d = \frac{P}{2 \cos(\alpha/2)} \quad [mm]$$

Teoretický rozměr přes drátky se určí ze vztahu :

$$Md_2 = d_2 + d_d \left(1 + \frac{1}{\sin \alpha/2} \right) - \frac{P}{2} \cdot \cot g \frac{\alpha}{2} + k_1 - k_2 \quad [mm]$$

kde:

k_1 – korekce zohledňující úhel stoupání šroubovice ($k_1 = 1 \div 2 \mu m$),

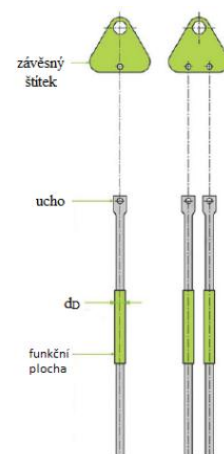
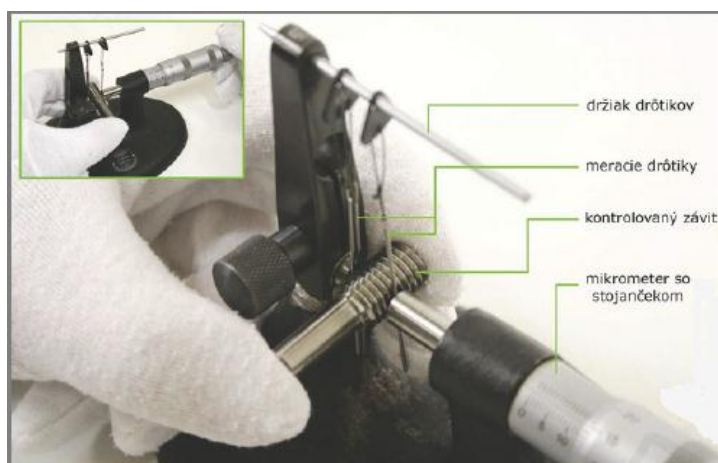
k_2 – korekce zohledňující měřicí tlak (hodnoty jsou tabulkové).

Vztah pro výpočet metrického závitu:

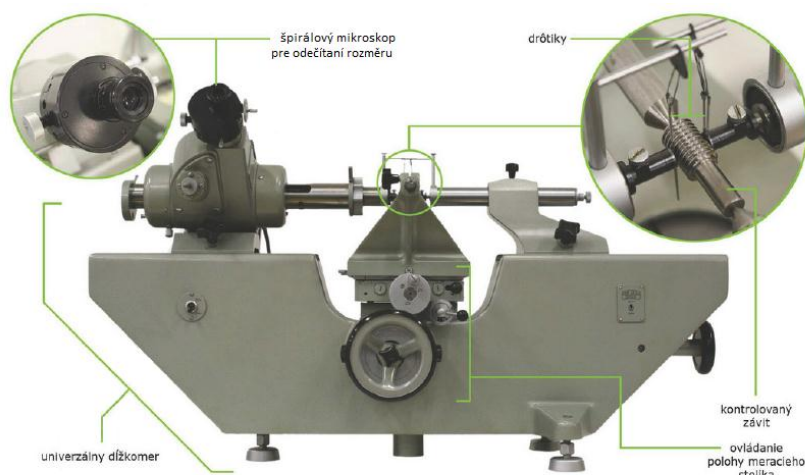
$$d_2 = Md_2 - 2x \quad [mm]$$

kde:

hodnota $2x$ je vypočítaná z geometrických vztahů a je udaná v tabulce.



Obr. 51 Měření středního průměru závitu na mikrometru se stojánkem sada měřicích drátků

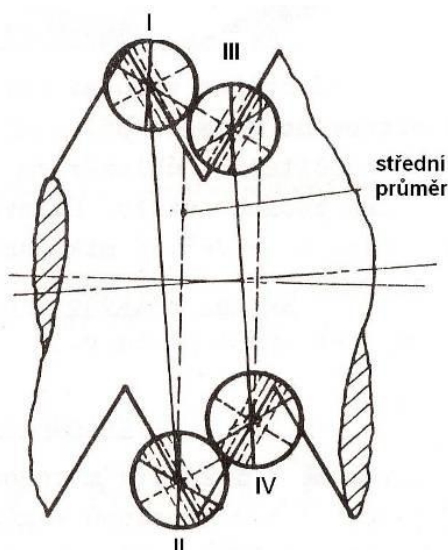


Obr. 52 Měření středního průměru závitu na univerzálním délkoměru ZEISS ULM 450

Kontrola pomocí dílenského (univerzálního) mikroskopu:

- metoda stínového odrazu - schéma měření je na obr. 27,
- metoda osového řezu za pomoci závitových nožíků.

Princip měření: spočívá, v tom že se nastaví průsečík nitkového kříže mikroskopu na dva proti sobě ležící boky závitu a odečítají se naměřené hodnoty. Rozdíl posunutí v příčném směru je přímo střední průměr závitu. Abychom eliminovali případnou chybu kolmosti směru měření (příčného posuvu) k ose závitu, provádíme vždy měření i na opačných bocích závitu stejným způsobem. Při tomto způsobu měření je možno vidět i vznik chyby měření.



Obr. 53 Schéma měření středního průměru závitu za pomoci mikroskopu

Vztahy pro výpočet středního průměru [mm]:

$$d_{2(levé)} = II - I \quad (\text{levá strana boku})$$

$$d_{2(\text{pravé})} = IV - III \quad (\text{pravá strana boku})$$

Výsledná naměřená hodnota:

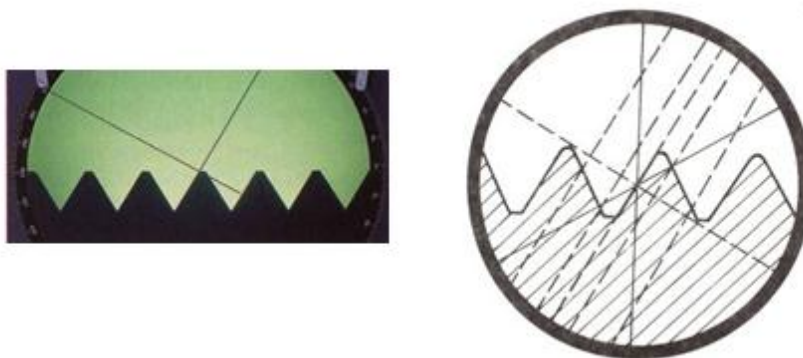
$$d_2 = \frac{d_{2(\text{levé})} - d_{2(\text{pravé})}}{2} \quad [\text{mm}]$$

nebo:

$$d_2 = \frac{(II - I) + (IV - III)}{2} \quad [\text{mm}]$$

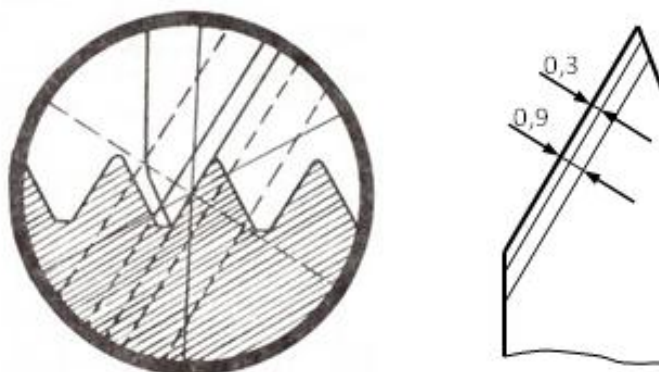
10.2.5. Kontrola (měření) vrcholového úhlu závitu

Pomocí dílenského (univerzálního) mikroskopu - při měření vrcholového úhlu se používá hlavice mikroskopu s pomocným (úhlovým) okulárem (odečítáme úhlové stupně a minuty). V případě že použijeme mikroskop s revolverovou hlavicí, kde na skleněné destičce jsou vyryty přesné profily závitu metrického, Whitworthova, úhly 30° a 40° ke kontrole lichoběžníkového závitu, můžeme kontrolovat rovněž zaoblení (poloměr), sražení apod.



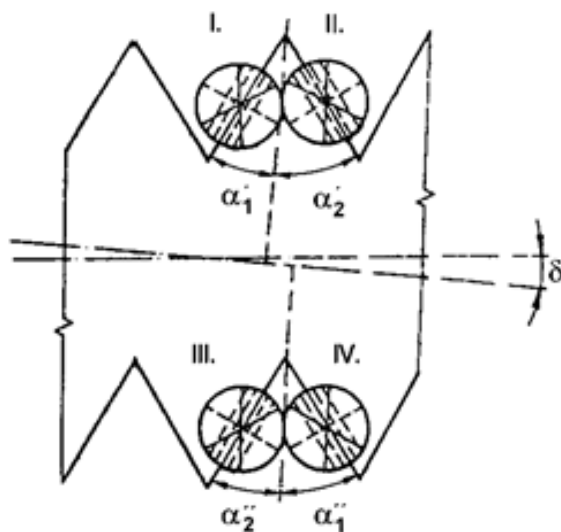
Obr. 54 Obraz závitu v okuláru mikroskopu

Metoda za pomoci závitových nožíků v osovém řezu – nožíky se nechávají dolehnout na bok závitu. Nožíky mají na čelní ploše vyryté přesné rysky (ve vzdálenosti 0,3 nebo 0,9 mm), které se ztotožňují s ryskami, které jsou v okuláru mikroskopu. Nožíky se dodávají levé, pravé a s čelním břitem pro přesná měření např. hladkých průměrů. Vlastní měření parametrů závitů se provádí stejnými postupy jako u metody stínového obrazu.



Obr. 55 Obraz závitu v okuláru osového rezu a jeho měřicí nožík

Princip měření stínového odrazu – do zorného pole hlavního okuláru se nastaví stínový obraz závitu, kde jedna ryska v tomto obrazu se ztotožní s bokem závitu. Při měření úhlů musí být osa středících důlků totožná s osou závitu, za které je vzorek uchycen v hrotech měřicího přístroje. Musí se tedy vyjít vždy z nulové polohy úhlového okuláru (musí být nastaven na $0^\circ 0'$). Chyba nesprávného nastavení os se vyloučí měřením úhlů rovněž na protější straně závitu (obr. 30).



Obr. 56 Schéma měření vrcholového úhlu za pomoci

Vztahy pro výpočet vrcholového úhlu:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_1' + \alpha_1''}{2} \quad [^\circ]$$

$$\alpha_2 = \frac{\alpha_2' + \alpha_2''}{2} \quad [^\circ]$$

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 \quad [^\circ]$$

U závitu s větším úhlem stoupání šroubovice nevidíme z důvodu prostorového zakřivení šroubové plochy ostrý obraz měřeného závitu. Pro vyloučení této nepřesnosti je potřebné vyklonit měřicí hlavici o středný úhel šroubovice β , který je vyjádřený vztahem:

$$\beta = 18,25 \frac{P}{d_2} \quad [^\circ]$$

kde:

P - rozteč závitu [mm],

d_2 - střední průměr měřeného závitu [mm].

Nepřesnost měření metodou stínového obrazu:

$$U = \pm \left(5 + \frac{3}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{4} \right) \quad [\mu m]$$

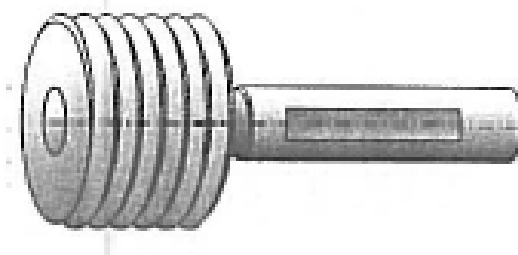
kde:

L - měřená délka [mm].

10.3. Kontrola vnitřních závitů

10.3.1. Komplexní kontrola

Kontrola se uskutečňuje za pomoci mezního závitového válečkového kalibru (obr. 31), který má oddělenou dobrou stranu (DS) a zmetkovou stranu (ZS).

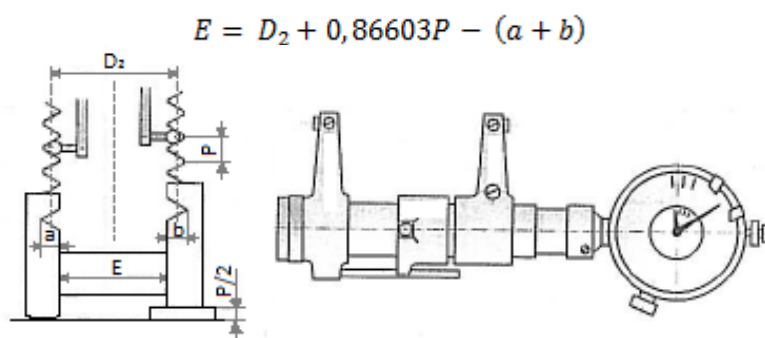


Obr. 57 Mezní jednostranný závitový válečkový kalibr

10.3.2. Měření rozteče (stoupání)

V závislosti od jmenovitého průměru a přesnosti měření rozeznáváme více metod:

Pomocí kuličkových dotyků (obr. 32) – kuličkové dotyky musí dosedat v závitové mezeře na roztečném průměru závitu. Přístroj je potřeba nastavit na žádanou hodnotu pomocí základních koncových měrek.



Obr. 58 Měření stoupání a průměru vnitřního závitu pomocí kuličkových dotyků

Za pomoci měřicích mikroskopů (u větších průměrů) – možno uskutečnit pomocí upravené hlavičky a to tak, že optická osa tvoří 90°, přičemž kontrolovaný závit se promítá v zorném poli okuláru a osa vložené části vsunutá do závitové části, musí být rovnoběžná s osou měřeného závitu,

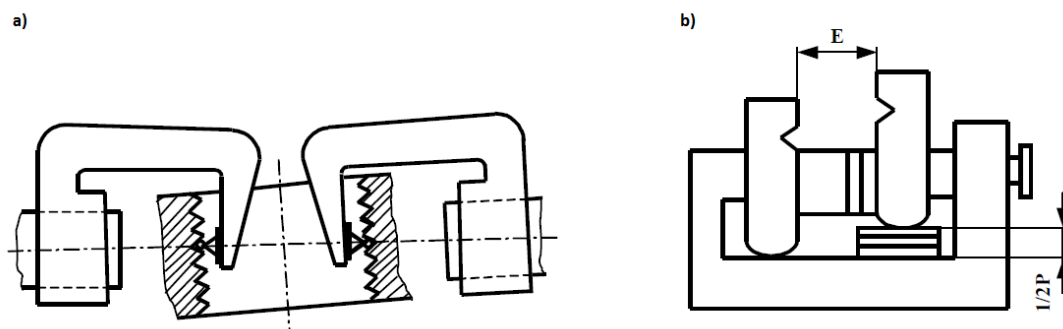
Za pomoci souřadnicových měřicích strojů (CMM) – číselné vyhodnocení měření vychází z konvenční třídrátkové metody. Výhodou CMM je jeho univerzálnost a možnost měřit různé druhy závitů (válcové, kuželové, symetrické, nesymetrické, vnější, vnitřní).

10.3.3. Kontrola středního průměru

Provádí se na univerzálním délkoměru – je to přesnější kontrola, kde se nastaví ramena na vnitřní měření s vyměnitelnými kuličkovými dotky.

Princip měření: Součástka je volně uložena na pohyblivém stolíku, kdy ramena se nastaví na požadovaný rozměr za pomoci přípravku (koncových měrek a šablon s profilem kontrolovaného závitu), potom se určí podle tabulky vzdálenost E a nastaví se za pomoci koncových měrek (KM). Na tuto vzdálenost se pomocí PC nastaví počáteční poloha měřeného dotyku, která odpovídá střednímu průměru D_2 .

Při kontrole větších průměrů se používají mikrometrické odpichy opatřené závitovými vložkami.



Obr. 59 Kontrola středního průměru matice
a) princip kontroly b) nastavení ramen

10.3.4. Kontrola vrcholového úhlu

Lze provádět na optickém mikroskopu – možno provést obdobně jako u měření rozteče, kde se speciálně upraví hlavice mikroskopu.

Měření je možno provádět:

- přímo – je velmi obtížné,
- nepřímo – možno provádět obtiskovou metodou (kontrola se provede na otisku kontrolovaného závitu).



Shrnutí kapitoly

Vnější závit, vnitřní závit, stoupání závitu, velký průměr závitu, malý průměr závitu, komplexní kontrola, dílčí kontrola, třídrátková metoda.



Kontrolní otázka

O 10.1 Čím je definován závit?

O 10.2 K čemu slouží hřebínkové šablony?

O 10.3 K čemu slouží třídrátková metoda?

O 10.4 K čemu slouží metoda kontroly pomocí mikrometru s vyměnitelnými dotky?

O 10.5 Jaký vrcholový úhel má metrický závit?

11. KONTROLA OZUBENÝCH KOL

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- Změřit základní parametry ozubeného kola.
- Používat měřidla k měření ozubených kol.
- Znat odchylky na ozubených kolech.

Budete umět

Budete schopni:

- Proměřit a vyhodnotit parametry ozubeného kola a jednotlivých odchylek.
- Popsat základní rozměry ozubeného kola.

Budete schopni

Ozubené kola patří mezi důležité strojní součástky. Ozubený převod je tvořen sružením dvou ozubených kol, resp. spoluzabírajících boků profilu zubů. Kvalita funkcí ozubených kol je dána dodržením požadovaných kinematických vlastností převodu a kvalitou potřebného styku funkčních ploch zubů k přenosu zatížení. Tím, že ozubený převod netvoří kinematickou dvojici s opačně tvarovanou součástkou (jako je tomu např. u hřídele a díry, šroubu a matice), ale jako součástka toho stejného tvaru, přesnost a vzájemná zaměnitelnost patří mezi normované parametry.



Čas ke studiu: 0,5 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- definovat základní parametry a odchylky na ozubených kolech
- popsat principy měření ozubených kol
- vyhodnotit naměřená data



Výklad

11.1. Odchylky ozubených kol

Účinnost, plynulost chodů, kinematická přesnost ozubených převodů je zabezpečena požadavky na:

- přesnost a správnost tloušťky zubů,
- přesnost a správnost geometrického tvaru zubu a kvality jeho povrchu,
- minimální radiální a axiální házení,
- přesnost uložení kola na hřídeli

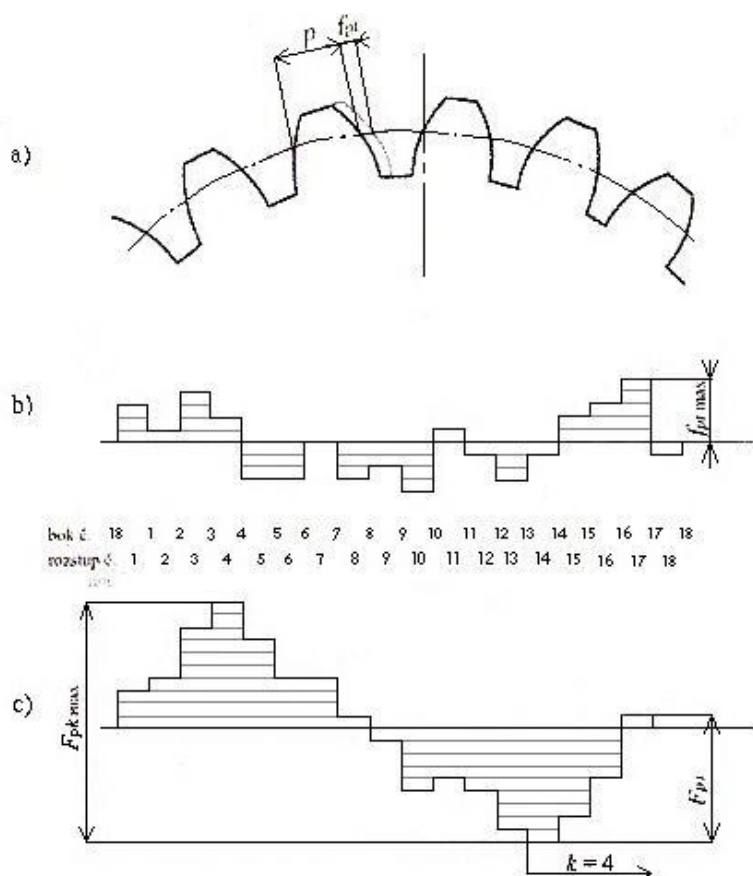
Norma ISO 1328-1 rozlišuje osm stupňů přesnosti ozubených kol, které jsou předpisované v závislosti na použití ozubených soukolí a jeho obvodové rychlosti. Dovolené odchylky se týkají rozměrů, geometrického tvaru zubů a vzájemné polohy prvků soukolí. Lícovací soustava je založena na jednotné vzdálenosti os soukolí pro rozsah modulů $m=(0,3 \text{ až } 12,5) \text{ mm}$, průměry roztečných kružnic do 1600 mm a vzdálenosti os převodu do 1600 mm.

V každém stupni přesnosti je pět skupin bočních vůlí, označovaných písmeny a až e. Boční vůle je určovaná na základě tepelných poměrů ozubeného soukolí. Ve výkresové dokumentaci se předpisuje lícování číslem stupně přesnosti a písmenem boční vůle např. 3c.

11.1.1. Odchylka čelní rozteče

Norma ISO 1328-1 (Soustava přesnosti ISO 1. část. Definice a dovolené hodnoty odchylek rovnolehlých zubů) definuje tři odchylky čelního rozstupu zubů

- jednotlivou odchylku rozteče – f_{pt} ,
- součtovou odchylku k rozteče – F_{pk} ,
- celkovou součtovou odchylku rozteče – $F_{pk \max}$



Obr. 60 Odchylky čelní rozteče

a) jednotlivá odchylka čelní rozteče, b) sloupcový diagram jednotlivých odchylek čelní rozteče, c) sloupcový diagram součtové odchylky k rozteči

Součtová odchylka k rozteče F_{pk} v úseku rozsahu k rozteče, je matematickým rozdílem mezi skutečnou délkou a teoretickou délkou příslušného oblouku. Je rovná matematickému součtu jednotlivých odchylek rozteče z těch jistých k roztečí.

Celková součtová odchylka rozteče kola $F_{pk \max}$ je největší součtovou odchylnou rozteče kola pro libovolné příslušné boky ozubeného kola. Je to rozdíl mezi skutečnou a teoretickou délkou oblouku mezi těmito dvěma příslušnými boky, které s odhadem na ideální kruhové dělení mají největší odchylku či už v kladném nebo záporné smyslu od jejich teoretické polohy.

11.1.2. Odchylka profilu

ISO 1328-1 definuje odchylky profilu jako kolmé odchylky k profilu zubu v čelní rovině, měřené ve vyhodnocovaném úseku profilu L_α . V grafickém záznamu odchylek se vyhodnocuje (obr. 34)

- Celková odchylka profilu – F_α ,

Je to vzdálenost mezi dvěma teoretickými profily, které tvoří obálku ke skutečnému profilu na vyhodnocovaném úseku L_α .

- Odchylka tvaru profilu – f_{fa} .

Je to vzdálenost mezi dvěma rovnoběžnými profily k středovému profilu ohraničující skutečný profil na vyhodnocovaném úseku L_α .

- Odchylka úhlu profilu – $f_{H\alpha}$.

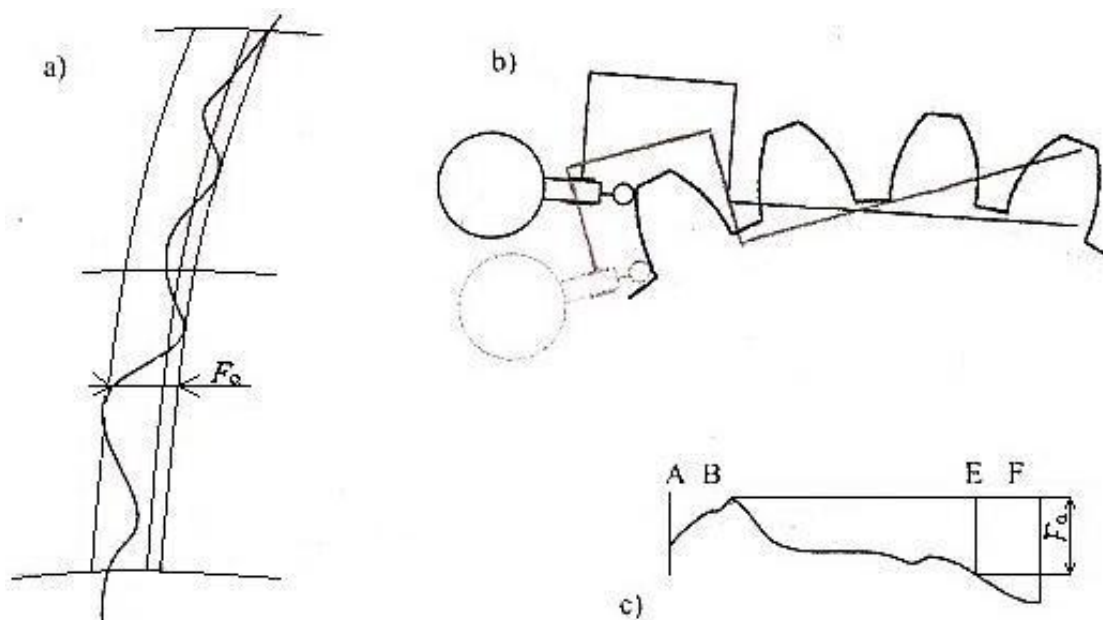
Je to vzdálenost mezi dvěma teoretickými profily, které protínají středový profil v koncových bodech vyhodnocovaného úseku L_α . Odchylka úhlu profilu se považuje za kladnou, jako středový profil v teoretickém profilu má vzestupný charakter směrem k hlavě zubu.

Měření odchylek profilu je uskutečňované pomocí přístrojů na měření evolventy. Grafický záznam se získává odvalem dotyku po profilu boku zubu, vždy směrem od paty k hlavě zubu. Princip měření spočívá v porovnávání skutečného (měřeného) profilu s teoretickým profilem. Vyhodnocuje se jako největší vzdálenost mezi obalovaným a skutečným profilem.

11.1.1. Házení

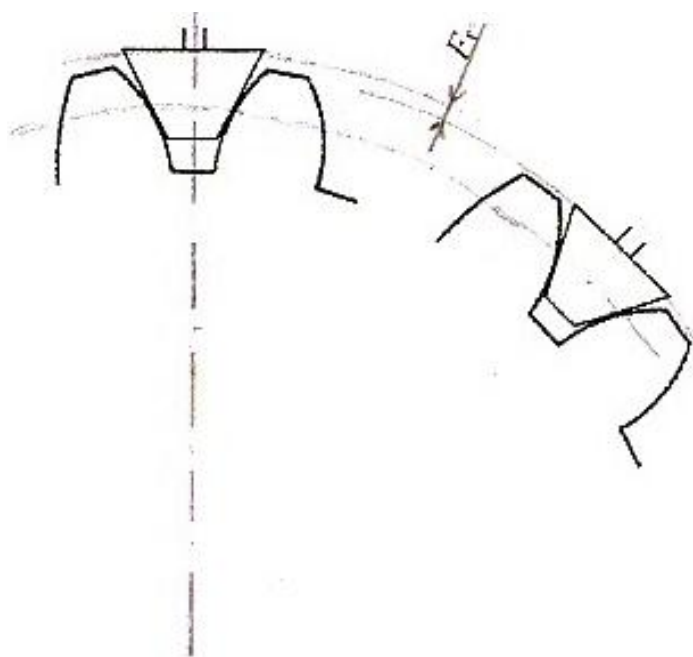
Definice radiálního házení F_r je na obr. 35. Radiální házení se měří v zubové mezeře a to v blízkosti roztečné kružnice anebo na hlavové kružnici ozubeného kola vhodným snímačem s prizmatickým tvarem dotyku (parametry potřebné pro výpočet úhlu prizmy jsou na obr. 37., kuličkovým anebo válcovým dotykem. Radiální házení má sinusový průběh. Odčítané hodnoty však nezávisí jen od radiálního házení zubové mezery, ale i od odchylek profilu, odchylek boční křivky a radiálního házení měřícího trnu. Velikost radiálního házení je rozdíl mezi maximální a minimální polohou snímače s vhodným dotykem.

Systém radiální souhrnné přesnosti má odlišné rozsahy stupňů, jako jsou v ISO 1328-1. Zahrnuje 9 stupňů přesnosti, přičemž 4. stupeň je nejvyšší přesnost a 12. stupeň je nejnižší. ISO 1328-2 udává závislost dovolených odchylek od valu a boční vůle na průměru roztečné kružnice a normálovém modulu.

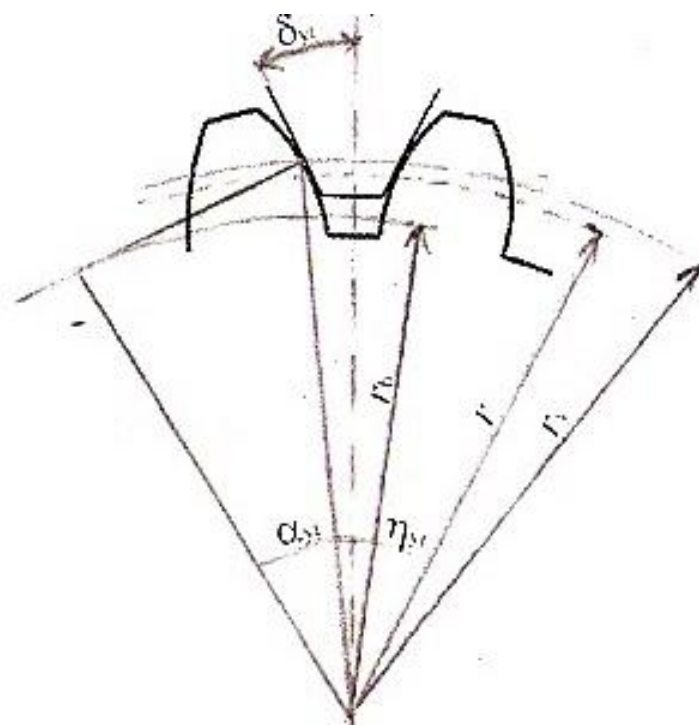


Obr. 61 Celková odchylka profilu

a) definice, b) měření na evolventoměru, c) grafický záznam



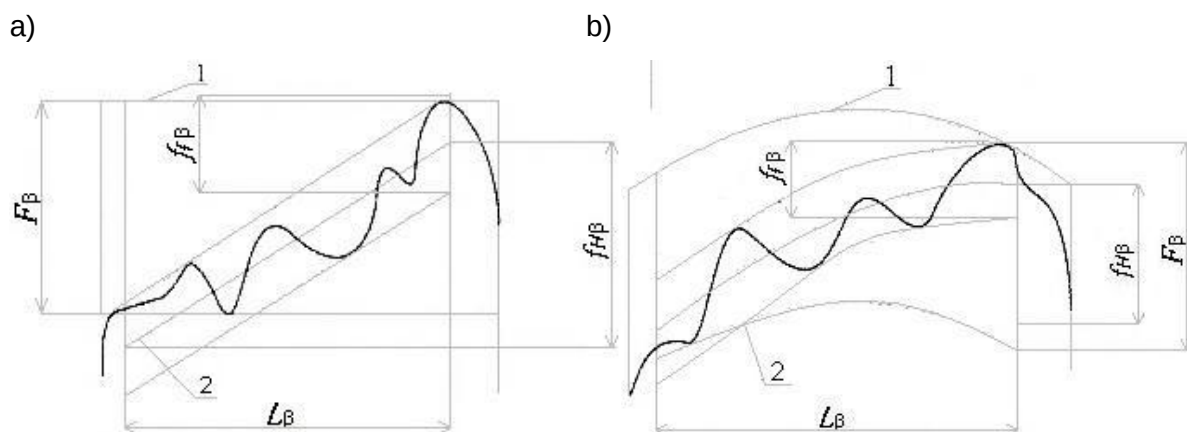
Obr. 62 Schéma měření ozubení



Obr. 63 Parametry prizmatického dotyku

11.1.2. Odchylka boční křivky

Celková odchylka boční křivky F_β je definována jako vzdálenost mezi dvěma vypočítanými bočními křivkami, které tvoří obálku skutečné boční křivky ve vyhodnocovaném rozsahu, jako je tato vzdálenost měřená v příčné rovině a je tangenciální k základnímu válci. Většina moderních přístrojů na měření evolventy dokáže měřit celkovou odchylku boční křivky.



Obr. 64 Celková odchylka boční křivky a její složky

a) nemodifikovaná boční křivka, b) modifikovaná boční křivka, 1 – jmenovitá boční křivka, 2 – střední boční křivka

Celková odchylka boční křivky F_{β} obsahuje dvě složky:

- Odchylku sklonu boční křivky $f_{H\beta}$.

Je to vzdálenost mezi dvěma teoretickými bočními křivkami, která přetíná střední boční křivku v nejkrajnějších mezních hodnotách ve vyhodnocovaném úseku boční křivky L_{β} .

- Odchylku tvaru boční křivky $f_{f\beta}$.

Je to vzdálenost mezi dvěma rovnoběžnými teoretickými bočními křivkami k střední boční křivce, které tvoří obálku ke skutečné boční křivce na vyhodnocovaném úseku boční křivky L_{β} .

11.2. Normy týkající se měření ozubených kol

Pro ozubená kola platí tyto ISO normy:

- ISO 53:1997 – Čelní ozubená kola. Základní profil.
- ISO 54:1997 – Čelní ozubená kola. Moduly a rozteče.
- ISO 701:1976 – Mezinárodní označování ozubených kol. Značky geometrických veličin.
- ISO 1122-1:1983 – Názvosloví ozubených kol: 1. část. Definice geometrie.
- ISO 1328-1:1995 – Čelní ozubená kol. Soustava přesností ISO. 1. část. Definice a dovolené hodnoty odchylek rovnolehlých boků zubů.
- ISO 1328-2 – Čelní ozubená kola. Soustava přesností ISO. 2. část. Definice a dovolené odchylky odvalu a boční vůle.
- ISO 10063 – Čelní ozubená kola. Boky zubů, vlnitost, drsnost ploch, vzdálenost a rovnoběžnost os, číselné hodnoty.

11.3. Měřicí metody

Měřicí metody je stanovený způsob porovnávání hodnot veličin aplikovaných v procese měření. Měřicí metody je možné rozdělit podle různých hledisek.

Podle způsobů získání výsledků:

Přímá měřicí metoda je metoda, kde výsledek získáme přímo daným měřením. K určení výsledků není potřebný výpočet. V tomto případě význam měření veličiny Q je totožný s naměřenou hodnotou X_n . $Q = X_n$

Přímé měřicí metody jsou založené na měření veličiny podle definici.

Nepřímá měřicí metoda je metoda, při které se hodnota měřené veličiny určuje prostřednictvím výsledků měření několik dílčích veličin, které jsou s měřenou veličinou ve známém funkčním vztahu.

$X = f(y; u; \dots t)$; X – hledaná hodnota měřené veličiny Q ,

$Y, z, \dots t$ – hodnoty dílčích veličin získané přímou metodou.

Podle toho či zjišťujeme celkovou hodnotu měřené veličiny, nebo jen rozdíl od zvolené metody:

Absolutní měřicí metoda (metoda s přímým porovnáváním) – hodnota naměřené veličiny se porovnává se známou hodnotou té jisté veličiny přímo.

Komparační metoda – porovnávací metoda, při které se hodnota měření veličiny porovnává s takovou známou hodnotou té jisté veličiny, která se jen málo liší od hodnoty naměřené veličiny, přičemž se určuje jen rozdíl obou porovnávaných hodnot. Komparační metoda umožňuje získat přesnější výsledky měření, tak poznáme skutečnou metodu etalonu a její nepřesnost je velmi malá.

Podle technického vyhodnocení měřidel:

Dotykové – dotykem se dotýkáme skutečného povrchu měřené součástky. Proces kontaktního měření je ovlivňována velikostí tlaku mezi dotykem měřidla a měřeným povrchem součástky.

Bezdotykové – měření se vykonává tak, že se uskutečňuje bez hmotného dotyku měřené veličiny se známou porovnávací veličinou.

V závislosti od vlivu výsledku měření na technologický proces – aktivní a pasivní metoda měření. V závislosti na získaném výsledku – komplexní metoda nebo dílčí metoda měření apod.

11.4. Konvenční zařízení na měření ozubených kol

V průmyslu se používají měřicí přístroje, které se dají přímo použít v praxi. Ve výrobě se často kontrolují tvary jednoduchými pomůckami (pravítka, šablony) a měřicími přístroji (číselníkové úchylkoměry apod.). Konvenční měření se realizuje měřením v tzv. uhlových podložkách, případně jiným podobným uspořádání.

Tyto metody se nazývají relativní, nebo trojbodové. Na jejich základě se dají navrhnout přístroje, které se mohou využít ve výrobě a to i přímo na stroji, po dobu obrábění. V současné době je použití relativních metod omezené, protože dopředu často nepoznáme základní tvarovou odchylku.

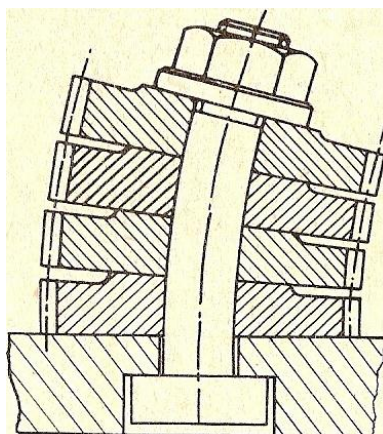
11.4.1. Měření a kontrola polotovaru na ozubení

Výroba i kontrola ozubených kol jsou poměrně náročné, pracuje se se složitými geometrickými tvary (evolventa, cykloida), proto se na pracovníky, kteří se na ní zúčastňují, kladou vysoké nároky.

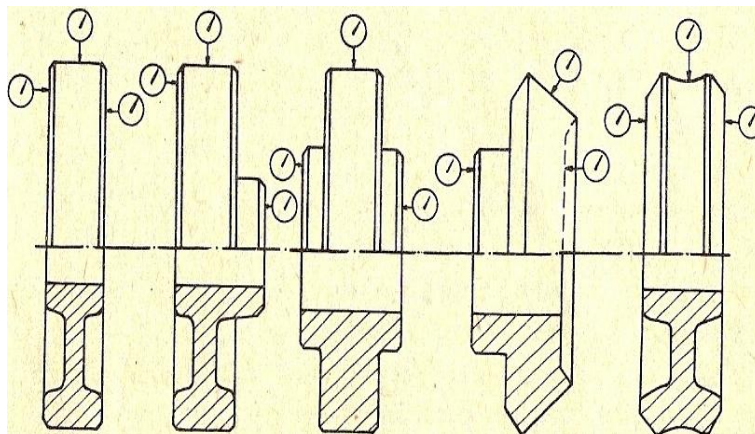
Jak má být chod ozubených kol rovnoměrný a nehluký, musí se věnovat důkladná starostlivost všem složkám, které mají vliv na celkové vyhodnocení ozubení. Přesnost výroby

ozubených kol se musí sledovat už od prvních operací. Po soustružení plochy potřebné na výrobu ozubení, tj. hlavový průměr kola, otvor kola a čelní plochy nesmí házet.

Výrobní tolerance hlavového průměru kola jsou vždy záporné a řadí se podle stupně přesnosti, modulu a velikosti průměru kola. Obě dvě čelní plochy musí být rovnoběžné, aby se přitáhnutím nedeformoval upínací trn (obr. 39). Průměr kola musí být centrický, protože při frézování anebo při obrážení se podle něho kolo centruje. Způsob kontroly kola po soustružení a měření radiálních a axiálních házení je znázorněné na (obr. 40).



Obr. 65 Příklad na deformaci upínacího trnu vlivem nepřesnosti bočních čel



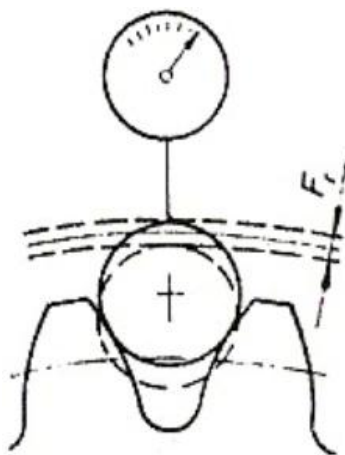
Obr. 66 Místa kontroly házení ozubených kol po soustružení

11.4.2. Měření obvodového házení ozubení

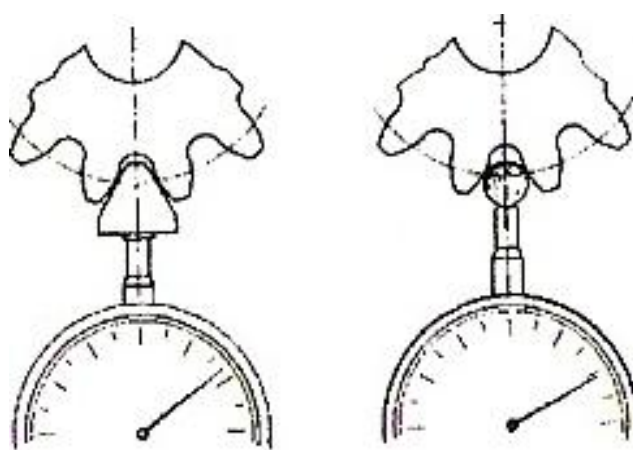
Obvodové házení ozubení F_r je největší naměřená radiální změna polohy měřícího elementu v libovolném čelním řezu. Tento element je postupně vkládán do všech zubových mezer měřeného kola, které se otáčí kolem své osy. Naměřená hodnota se tak rovná hloubce ponoru v rovině kolmé na osu kola.

Jako dotykový element slouží zpravidla kulička, ve výjimečných případech váleček nebo měřicí klín. Jejich velikost se volí tak, aby dotykové body mezi ozubením a měřícím

elementem ležely přibližně uprostřed výšky zubu. Průměr nejčastěji používaného kuličkového dotyku je závislý na mnoha veličinách (z , m , α , β , x) a má pro vnější ozubení hodnoty okolo 2,2 m pro $z < 20$ a okolo 1,8 m pro $z > 20$. Pro vnitřní ozubení je třeba volit průměr kuličky asi o 0,5 m menší. Použitý průměr kuličky má být uveden v protokolu o měření.



Obr. 67 Obvodové házení

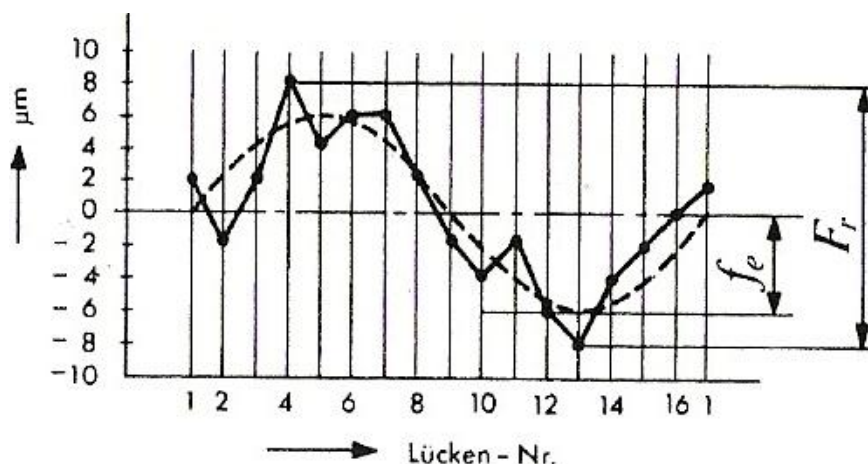


Obr. 68 Princip kontroly obvodového házení ozubení F_r

Vyhodnocení výsledku měření

Obvodové házení ozubení F_r odpovídá rozdílu mezi nejvyšším a nejnižším bodem měření. Skládá se z dvojnásobné hodnoty excentricity f_e ozubení a z účinků odchylek rozteče a boků zubů.

Hodnoty lze vynést rovněž do paprskového diagramu a v něm vyznačit velikost obvodového házení ozubení F_r . Z průběhu křivky diagramu obvodového házení, která je znázorněna pro střed šířky zubu, může být vedle hodnoty F_r získána i další informace. Pokud se křivka diagramu podobá přibližně sinusovce, pak existuje mezi ozubením a osou kola v dané rovině excentricity amplitudy dané sinusovky.



Obr. 69 Diagram obvodového házení pro ozubení se 16 zuby

11.4.3. Měření tloušťky zubů

Tento způsob měření je podle ČSN 01 4678. Touto normou se stanoví způsob zjištění tloušťky zubu ozubených kol se zuby přímými, šikmými nebo šípovými a kuželových kol se zuby přímými a s evolventním ozubením. Tohoto měření se používá tehdy, není-li možno měřit rozměr přes zuby. Měření není závislé na počtu zubů kola a není tedy nutné počet zubů znát (u porovnávacího kola).

U kol se šikmými zuby se měří v normálním řezu kolmém na sklon zubů na roztečném válci.

Výhody měření:

- a) jednoduché měřidlo
- b) lze měřit přímo na stroji při výrobě ozubení
- c) posunutím základního profilu lze odečíst tangenciálním zuboměrem
- d) konstantní tloušťka zubu závisí na modulu, úhlu záběru a na posunutí základního profilu, nezávisí na počtu zubů ozubeného kola.

Nevýhody měření:

- a) měření závisí na přesnosti průměru hlavové kružnice

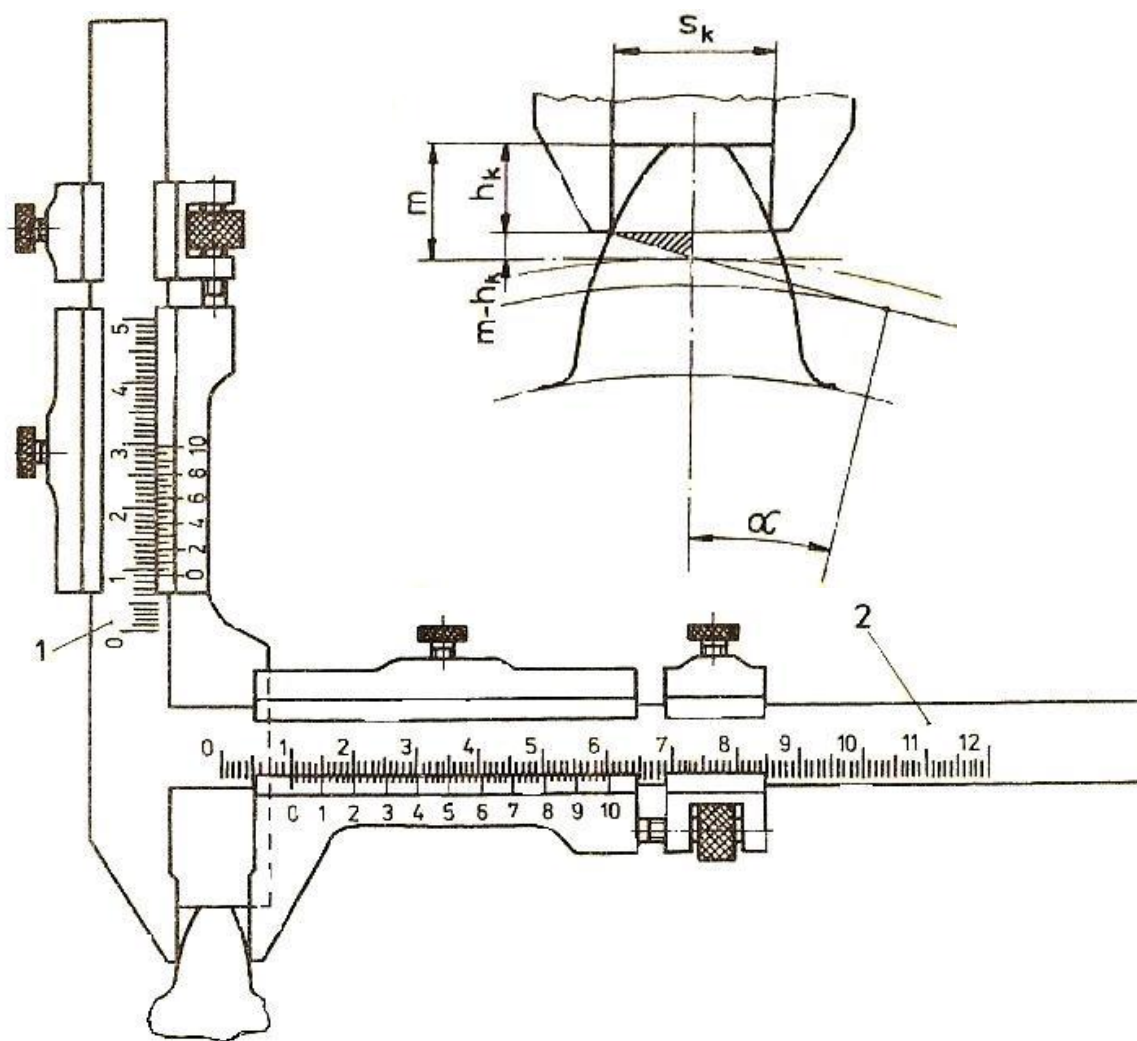
Konstantní tloušťka zubu s_k je určena vzdáleností průsečíků evolvent profilu zubu s tečnami k základní kružnici procházející průsečíkem osy profilu zubu s roztečnou kružnicí.

Konstantní výška zubu h_k je vzdálenost konstantní tloušťky od hlavové kružnice měřená v ose profilu.

Popis měřidla:

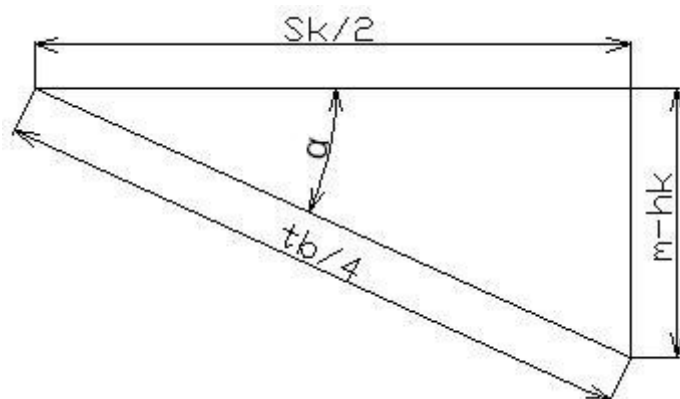
Posuvné měřítko na měření tloušťky zubu sestává z posuvného měřítka sdruženého s hloubkoměrem. Na svislém měřítku se nastavuje hloubka měření. Vodorovným měřítkem se

měří skutečnou tloušťku zubu. Pro zajištění nastavené hodnoty jsou posuvné čelisti vybaveny stavěcím zařízením, pro možnost jemného seřízení jsou vybaveny pomocnými stavítky. Měření v daném měřicím rozsahu je rychlé a má vyhovující přesnost.



Obr. 70 Posuvné měřidlo (zuboměr) na měření tloušťky zubů

11.4.4. Výpočet jmenovité konstantní tloušťky a výšky zubů



Obr. 71 Výpočet jmenovité konstantní tloušťky a výšky zubu

Z trojúhelníka vyplývá:

Konstantní tloušťka zubu:

$$\frac{S_k}{2} = \frac{t_b}{4} \cdot \cos \alpha = \frac{\pi \cdot m \cdot \cos^2 \alpha}{4}$$

$$\underline{\underline{S_k = m \cdot \frac{\pi \cdot \cos^2 \alpha}{2} \text{ [mm]}}}$$

Konstantní výška zubu:

$$m - h_k = \frac{t_b}{4} \cdot \sin \alpha = \frac{\pi \cdot m \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha}{4}$$

$$\underline{\underline{h_k = m \cdot \left[1 - \frac{\pi \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha}{4} \right] \text{ [mm]}}}$$

Postup měření

1. Zkontrolujeme vypočtené hodnoty h_k a S_k podle tabulek ČSN 01 4678 na podkladě hodnot m . Získané hodnoty zaokrouhlíme podle druhu s přesností použitého měřidla.
2. Na svislém rameni zuboměru nastavíme hodnotu h_k a rameno zajistíme.
3. Měříme postupně tloušťku zubu S_k a naměřené hodnoty zapisujeme do tabulky.
4. Zjistíme odchylky naměřených hodnot od vypočtených $s_k - s_{kh} = \Delta s_{kh}$

11.4.5. Měření míry přes zuby

Měření tloušťky zubů čelních ozubených kol s přímými zuby nebo šikmými zuby přes několik zubů (minimálně však přes dva zuby), je nejrozšířenější metodou k přímému (měření) stanovení boční vůle. Měření se provádí posuvným měřítkem, talířovým mikrometrem, tolerančním kalibrem, nebo speciálními měřidly. Rozměr přes zuby je ovlivněn úchytkou chyby dělení a proto je nutno kontrolovat více hodnot na obvodě (nejméně 4x) a určit průměrnou hodnotu.

Výhody měření:

- a) jednoduché měřidlo
- b) lze měřit přímo na stroji při výrobě ozubení
- c) z naměřeného rozměru lze snadno určit posunutí základního profilu, tj. hodnotu, o níž je třeba posunout nástroj k dokončení ozubení
- d) měření vychází od obrobených boků zubů a není závislé na přesnosti průměru hlavové kružnice kola.

Postup měření

Ozubené kolo si přidržíme a upevníme tak, abychom jim mohli při měření pootáčet. Talířové dotyky mikrometru přiložíme k vnějším bokům zubů, zhruba v místě kudy prochází základní kružnice a dotáhneme. Po zajištění měřidla, odečteme ze stupnice velikost rozměru M. Ozubené kolo pootočíme, měřidlo posuneme o jeden zub a měření přes zuby opakujeme. Tímto způsobem proměříme celé ozubené kolo.

Vyhodnocení měření

Zjištěné rozměry přes zuby po celém obvodu porovnáme s údajem M v normě. Jmenovitý rozměr přes zuby M je délka společné kolmice při jmenovité poloze základního profilu a vzdálenosti os. Měří se na tečně k základní kružnici poblíž roztečné kružnice ozubeného kola (ČSN 01 4675).

Horní mezní úchylka ΔM_H :

je dána rozdílem jmenovitého rozměru M a horního mezního rozměru.

$$M_H = M - \Delta M_H$$

Dolní mezní úchylka ΔM_D :

je dána rozdílem jmenovitého rozměru M a dolního mezního rozměru.

$$M_D = M - \Delta M_D$$

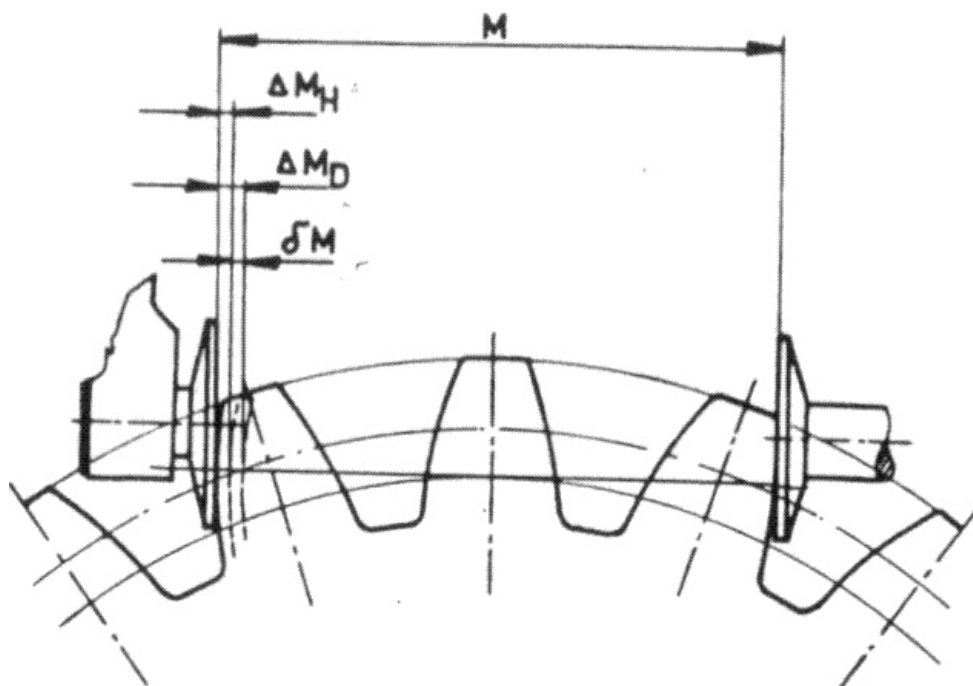
Horní i dolní úchylka je vždy záporná (aby vznikla vůle).

Tolerance rozměru přes zuby: $\delta M = \Delta M_D - \Delta M_H$ (ČSN 01 4682)

Počet zubů, přes které se měří, se určuje ze vztahu:

$$z' = \left(\frac{\alpha}{180^\circ} \right) \cdot z + 0,5$$

Hodnota z' zpravidla nevyjde jako celé číslo. Zaokrouhuje se vypočtená hodnota do 0,2 dolů a hodnota přes 0,2 nahoru.



Obr. 72 Schéma měření mikrometrem s talířovými dotyky



Shrnutí kapitoly

Odchytky ozubených kol, Odchytky čelní rozteče, Odchytky profilu, Házení, Odchytky boční křivky, Normy týkající se měření ozubených kol, Přímá měřicí metoda, Nepřímá měřicí metoda, Absolutní měřicí metoda, Komparační metoda, Dotykové metody, Bezdotykové metody, Měření a kontrola polotovaru na ozubení, Měření obvodového házení ozubení, Měření tloušťky zubů, Výpočet jmenovité konstantní tloušťky a výšky zubů, Měření míry přes zuby.



Kontrolní otázka

- O 11.1 Čím je definováno ozubené kolo?
- O 11.2 Jaký je teoretický profil většiny ozubených kol?
- O 11.3 Na jakém principu funguje evolventoměr?
- O 11.4 Jak funguje metoda měření tloušťky zubu v konstantní výšce?
- O 11.5 Jak funguje metoda kontrola rozměru přes zuby?
- O 11.6 Jak se kontroluje obvodová házivost ozubených kol?

12. SOUŘADNICOVÉ MĚŘICÍ STROJE

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- Popsat typy CMM strojů.
- Popsat konstrukci CMM strojů.
- Popsat snímací systémy stroje.
- Aplikovat CMM na měření prostorových ploch.

Budete umět

Budete schopni:

- Aplikovat měření dotykové a bezdotykové.
- Určit správný typ měřicího stroje pro měření.
- Popsat princip měření na CMM.
- Vytvořit základní program na CMM.

Budete schopni

Souřadnicové měřicí stroje svým příchodem sehrály důležitou úlohu v oblasti průmyslových odvětvích včetně letectví, automobilového průmyslu, elektroniky, potravinářského průmyslu, zdravotnictví, výroby papíru, farmaceutického průmyslu, plastů, výzkumu, rozvoje polovodičů a staly se neoddělitelnou součástí výrobního procesu. Díky své univerzálnosti a flexibilitě patří k nejrychleji se vyvíjejícím měřicím prostředkům a díky své sofistikovanosti souřadnicové měřicí stroje (CMM - Coordinate Measuring Machine) našly svoje místo nejen jako laboratorní zařízení, ale také uplatnění hlavně v oblasti strojírenské výroby. CMM díky svému širokému spektru využití je praktické a cenově výhodné zařízení, které od jiných měřicích procesů a od jiných typů CMM mají schopnost rychle a přesně zachytit data a vyhodnotit je. Sofistikované kontaktní a bezkontaktní sondy, zkombinované se schopností počítačového zpracování dělají ze CMM praktické cenově efektivní řešení.



Čas ke studiu: 3 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- popsát typy CMM
- popsát konstrukce CMM
- popsát a aplikovat měřicí doteky
- popsát princip měření
- popsát snímací systémy strojů



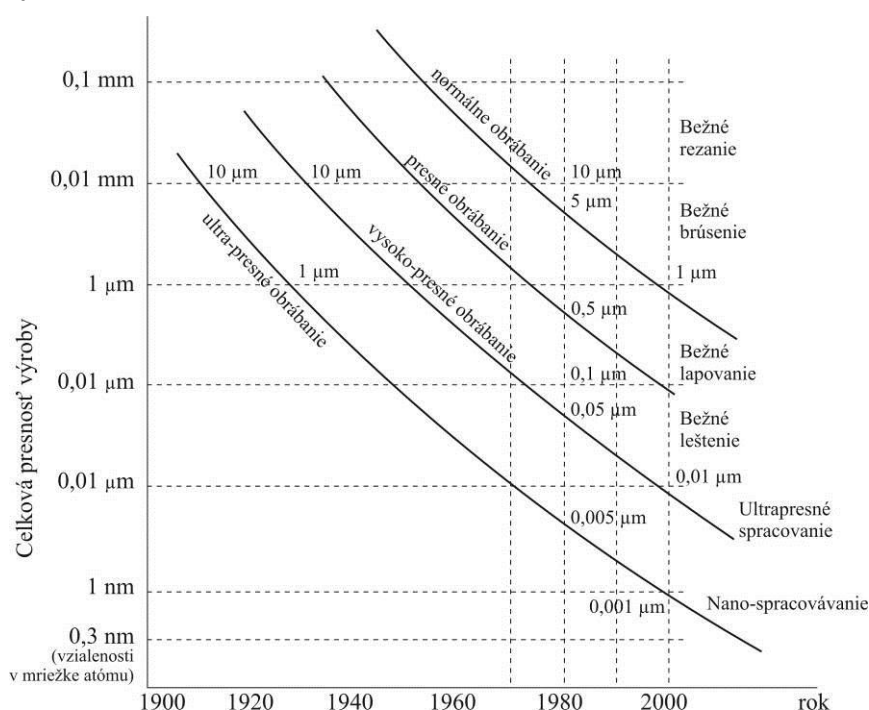
Výklad

12.1. Historie CMM

Je těžké datovat roky, od kdy se CMM zařazují mezi nástroje různých tříd měření, ale v metrologii můžeme považovat C. E. Johanssona a F. H. Rolta za průkopníky, kteří napsali o strojích, které dokáží měřit v kartézské soustavě. Už ve čtyřicátých letech komise pro atomovou energii rozlišila potenciál CMM strojů, kde jejich stroje udržely krok v oblasti exploze výpočtové techniky. Teoretici a technici v daném oboru byli rychlí a rozpoznali potenciál a svoje úspěchy, naneštěstí však sofistikovanost CMM (v porovnání s běžně využívanými nástroji) zapříčinila zpomalení jejich přijetí.

V šedesátých letech se CMM započaly využívat jako silný nástroj, tedy jak mikroprocesory začaly získávat sílu v počítačových technologiích, výrobci začali rozpoznávat reálný potenciál CMM systémů. Kombinace CMM a počítačové schopnosti zpracování dat dovolili využívat tyto měřicí systémy nejvhodnějším a nejefektivnějším způsobem.

Postupem času se začalo tlačit na přesnost měření a v roce 1983 Taniguchi ve své práci odhadl trend výrobní přesnosti (obr. 47).



Obr. 73 Trendy výrobní přesnosti

V roce 1998 Schellekens ve svých pracích dobře předpokládal současný stav přesného strojírenství. Během posledních 30 let byl pokrok v technologiích výroby integrovaných obvodů, které byly hnacím motorem současného stavu, ale nové trendy přesného strojírenství (počítačová technika a spotřební elektronika – hard disky, videa, CD A DVD apod.) mají větší nároky na přesnost. Spolu s nárůstem v produktech narostly požadavky na kontrolu vysoko přesných rozměrů. Na zabezpečení tyto požadavky využíváme CMM a je upřednostňovaný před jinými měřicími přístroji kvůli své univerzálnosti, flexibilitě, lehké obsluze, nejistotě měření a vysoké přesnosti.

12.2. Popis třísořadnicových strojů

CMM jsou vhodné při následujících podmínkách:

- **Krátká produkce (při malých sériích)** - můžeme produkovat sto nebo tisíc kusů, ale výrobní série není dostačující, abychom efektivně odůvodnili náklady na inspekční a kontrolní nástroje.

- **Multifunkční funkce** – když máme určitý počet funkcí (obojí dimenzionální a taktéž geometrické) na zkontrolování, CMM je nástrojem, který dokáže organizovat jednoduše a ekonomicky.
- **Flexibilita** – protože si můžeme vybrat aplikaci CMM systémů, taktéž můžeme vykonat krátkodobou produkci a změřit různé charakteristiky.
- **Vysoké jednotkové náklady** – protože opracování a vyhazování dílů je nákladné, CMM systémy nám pomáhají zvýšit produkci akceptovaných dílů.
- **Přerušeni výroby** – kdykoliv musí být díl zkontrolován a musí být vyhotovený a akceptovaný jeden vzorek dílu předtím, než bude následovat další výrobní proces, obráběcí centrum může ve skutečnosti být schopno pomocí výrobců ušetřit víc peněz prostřednictvím redukování času, který by byl ušetřen na inspekci.

Při CMM musí být čas kontroly redukovaný o 80 % až 90 %, to je důvod, proč výrobci (taktéž jako i obchodní publikace a profesionální časopisy) jsou nadšení využíváním CMM.

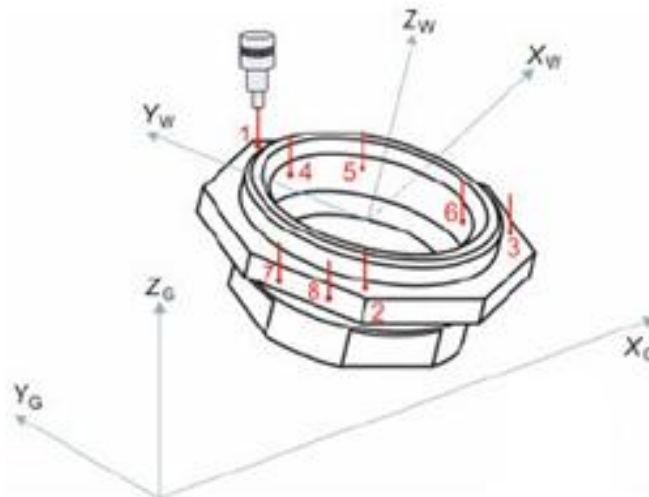
Třísouřadnicové měřicí zařízení (CMM)

V současné době v oblasti strojírenství nebo automobilové výroby se využívá moderní souřadnicová technika, která poskytuje univerzální využití při kontrole tvarově složitých součástek.

Souřadnicový měřicí stroj je počítačem kontrolované zařízení, které má složitý měřicí systém a je schopný měřit v rovině nebo v prostoru dané souřadné soustavy.

CMM pracuje s dvěma souřadnicovými systémy:

- souřadnicový systém stroje,
- souřadnicový systém měřeného předmětu.

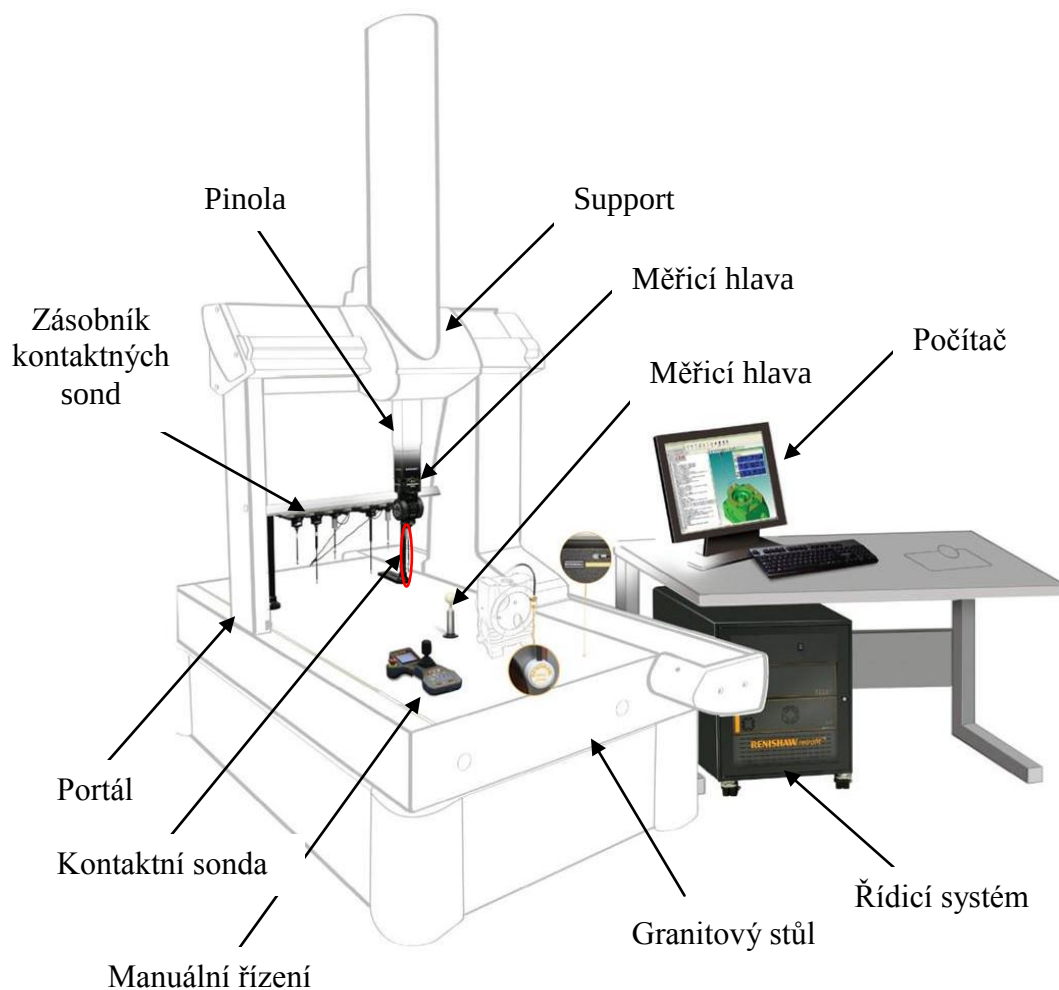


Obr. 74 Souřadnicový systém stroje a součástky

Pokud se měří délka na konkrétní součástce, souřadnicový systém součástky se vytváří změřením referenčních prvků po obvodě součástky (obr. 48). Musíme však rozlišovat mezi souřadnicovým systémem přístroje (X_G , Y_G , Z_G) a souřadnicovým systémem součástky (X_W , Y_W , Z_W). Na měřené součástce může být několik souřadnicových systémů.

Každý CMM se skládá z dílčích, navzájem propojených subsystémů (obr. 49), které jsou navzájem propojené:

- pohonný systém (mechanická část),
- odměřovací systém,
- snímací systém včetně systému pro výměnu snímačů,
- řídicí systém,
- počítač,
- software.



Obr. 75 **Popis základních částí souřadnicového měřicího stroje**

Ve všeobecnosti se od nich očekává:

- absolutní a inkrementální měření (měření rozměru po jednotlivých krocích) měření rozměru ve směru os x, y a z,
- měření vzdálenosti mezi definovanými body,
- určení obrysové křivky z naměřených bodů,
- generování křivek chyb,
- určení geometrických odchylek tvaru a polohy,
- automatické porovnání požadované a skutečné hodnoty,

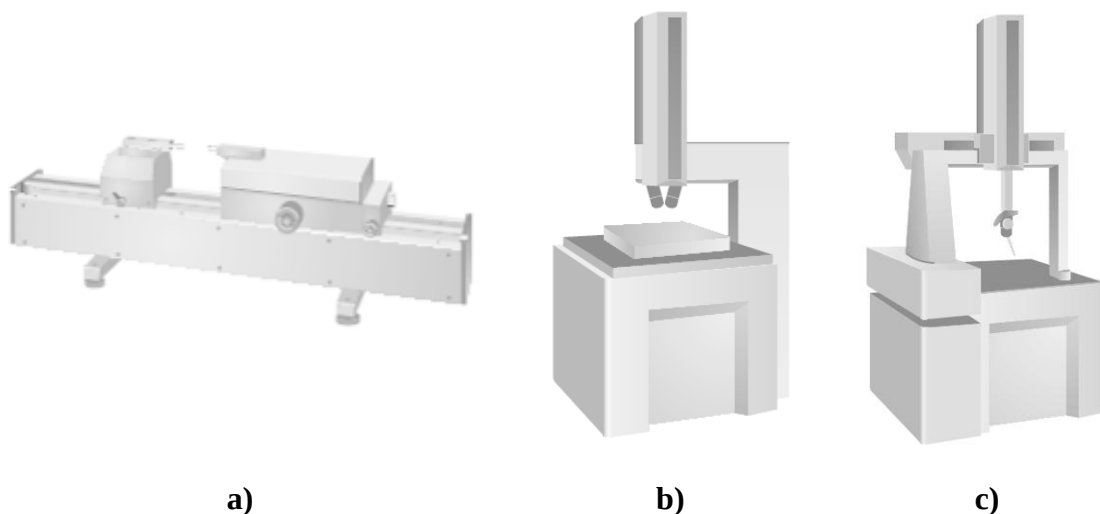
- kontrola sdružených součástí,
- výpočet průsečíků os,
- výpočet středů a průměrů děr různými metodami,
- zjištění sklonu osy díry,
- zjištění středu oblouku,
- automatické nastavování naměřených objektů,
- automatická korekce na dotyk,
- transformace souřadnic (kartézské – polární).

12.3. Typy konstrukcí CMM

Výrobci CMM strojů nabízejí celou řadu od malých stolních přístrojů až po velké mostové systémy. Používají se hlavně ke kontrole rozměrů, tvaru a polohy běžných geometrických útvarů, které se vyskytují na výrobcích.

Podle konstrukce se souřadnicové měřicí stroje rozdělují na tři základní skupiny:

- **Jednosouřadnicové měřicí stroje** (obr. 50a) - umožňují měřit rozměr jen v jedné ose x. Pomocí nich se dá dosáhnout velmi malá chyba měřidla 0,6 až 6 μm v celém rozsahu, a to i při měření velkých rozměrů.
- **Dvousouřadnicové měřicí stroje** (obr. 50b) – umožňují měřit rozměry ve dvou navzájem kolmých osách „x“ a „y“, v jedné rovině. Při měření v 2D využíváme mikroskopy, profilprojektory, laserové interferometry a skenery.
- Mikroskopy jsou počítačem podporované a obvykle mají optoelektronický odměřovací systém, okulár s nitkovým křížem nebo CCD kameru.
- **Třísouřadnicové měřicí stroje** (obr. 50c) – umožňují měřit rozměry ve třech navzájem kolmých osách „x“, „y“ a „z“, teda v prostoru. Představují vrchol techniky měření geometrických veličin. Na jedno upnutí umožňují složité rozměrové měření ve třech navzájem kolmých souřadnicích.



Obr. 76 Typy CMM podle konstrukce: a) jednosouřadnicový CMM, b) dvousouřadnicový CMM, c) třísouřadnicový CMM

V současnosti existuje velké množství CMM vyznačující se různými stupni automatizace od manuálních, až na některé výjimky, všechny využívají konstrukční řešení s polohováním v kartézské (polární) souřadnicové soustavě.

Podle normy ČSN EN ISO 10 360 – 1 se CMM zařazujeme do čtyř základních geometrických uspořádání:

- stojanový typ,
- výložníkový typ,
- portálový typ,
- mostový typ.

Stojanový (sloupový) typ (obr. 51a)

Měřený předmět se upíná na stůl, který se pohybuje ve směru osy „x“ a „y“ a měřicí pinola se pohybuje ve směru osy „z“. Stroje tohoto typu se řadí mezi nejpreciznější a jsou vhodné pro malé rozsahy měření, můžou být vybavené kruhovým stolem s úhlovou stupnicí. Jejich charakteristickými znaky jsou:

- tuhá úhlová konstrukce,
- dobrý přístup k měřenému předmětu.

Výložníkový typ (obr. 51b)

Měřený předmět se upíná na stůl, přičemž měřicí pinola na výložníku se pohybuje ve směru osy „y“ a kolmo v ose „x“, v ose „y“ se mění vyložení pinoly od vodící plochy, proto je nutné vyvažování. Jejich charakteristickými znaky jsou:

- z důvodu tuhosti je osa „y“ poměrně krátká,
- dobrý přístup k měřenému předmětu – vhodný pro dlouhé úzké součásti.

Portálový typ (obr. 51c)

Patří k nejrozšířenějším CMM pro střední a velké rozsahy měření. Jejich charakteristickými znaky jsou:

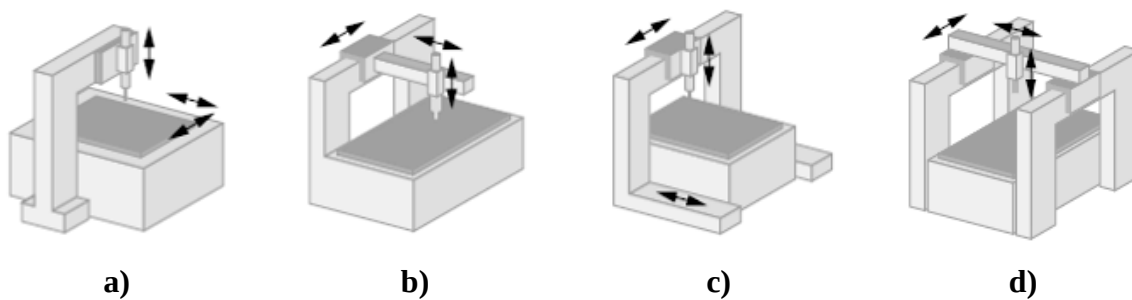
- velká tuhost (umožňuje vysokou přesnost měření).

Může být ve dvojím provedení:

- pohyblivý portál (obr. 52a) – portál se pohybuje nad pevným stolem, přístup do měřicího prostoru je omezený konstrukcí stroje,
- pevný portál (obr. 52b) – je pevný, vyžaduje pohyblivý stůl, který se pohybuje v ose „x“.

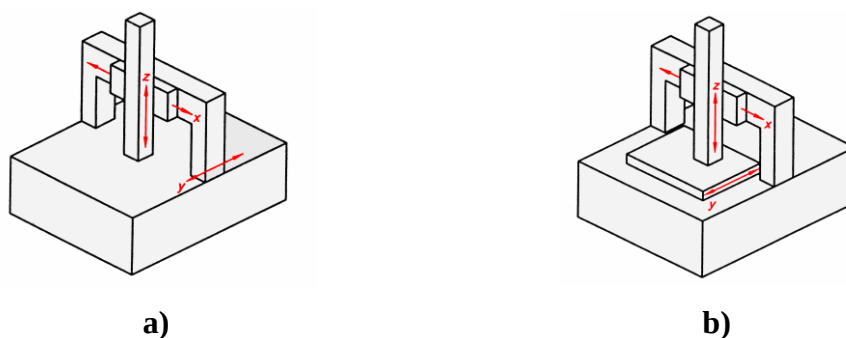
Mostový typ (obr. 51d)

Je charakteristický svou velikostí a má největší rozsahy měření. Měřicí rozsah v ose „x“ je až 24 m a více. Používá se na měření nadrozměrných součástek, nejčastější využití je v automobilovém a leteckém průmyslu.



Obr. 77 Typy souřadnicových měřicích strojů

a) stojanový typ, b) výložníkový typ, c) portálový typ, d) mostový typ



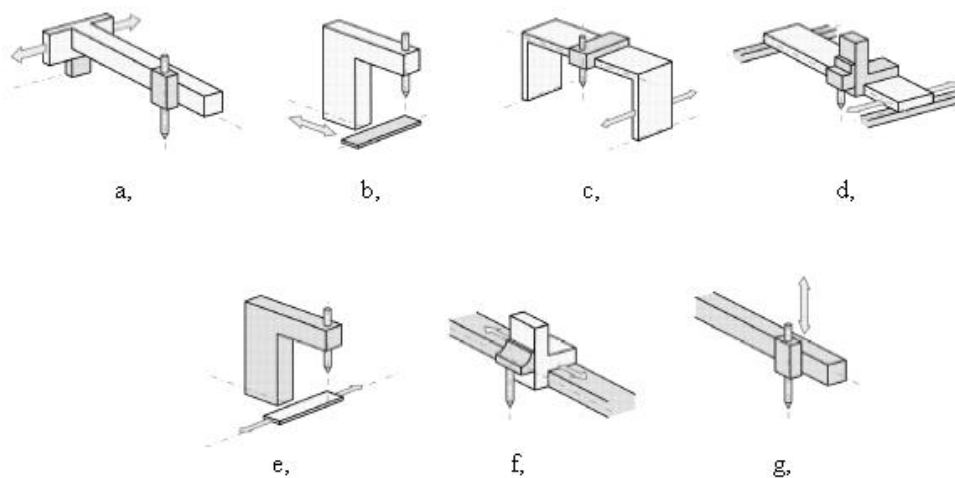
Obr. 78 Portálový CMM

a) pohyblivý portál – s pevným stolem, b) pevný portál – s pohyblivým stolem

Podle hmotnosti obrobků jsou vyráběny CMM:

- s pohyblivým stolem,
- s pevným stolem,
- s pevnou deskou v úrovni podlahy.

Pro CMM jsou typické tyto části, které jsou typické i pro výrobní stroje (obr. 53).



Obr. 79 Části souřadnicových měřicích strojů

a) výložník, b) stojan, c) most, d) portál, e) posuvný stůl, f) suport, g) smýkadlo

12.4. Základní prvky mechanického systému

K mechanickým prvkům CMM patří:

- rám,
- stůl,
- stojan (sloup),
- portál,
- most,
- pinola.

Rám - jedná se o svařovanou konstrukci co největší tuhosti (nese ostatní části mechanického systému). U mostových typů CMM je rám nahrazen deskou v podlaze.

Stůl - tvoří základnu pro osazení a upnutí měřené součásti (přímo, nebo za pomoci upínacího přípravku).

U CMM jsou stoly nejčastěji z přírodního kamene (žula), nebo z umělého kamene (granit), alternativně litinového odlitku. Pracovní deska je ustavena na čtyřech základních podpěrách. Horní plocha pracovní desky je broušená (při výrobě jsou kladené vysoké požadavky na rovinnost funkčních ploch). V pracovní ploše jsou otvory se závity. Pomocí těchto závitů, šroubů a upínek se připevňuje k pracovní ploše měřený kus. Na koncích desky je upevněno seřiditelné vedení, po kterém pojíždí most.

K základním požadovaným vlastnostem materiálu patří:

- vysoká životnost,
- objemová stálost,
- minimální tepelná roztažnost,
- odolnost proti korozi,
- možnost opravy při případném poškození.

Sloupy, portály a mostové konstrukce - u jednotlivých typů CMM jsou konstruované jako svařence. Důraz je kladen na dostatečnou tuhost, rozměrovou a tvarovou stálost. Portál CMM je konstruovaný na minimální průhyb při posunu pinoly v příčném směru. Při některých typech CMM je konstrukce portálu zhotovena ze žuly nebo granitu.

Most - složená uzavřená konstrukce, jejíž stojiny tvoří profily normy ČSN 42 6936, přičemž překlad mostu tvoří vedení příčných saní.

Pinola - je tyč kruhového profilu H (litinová, duralová, z přírodního kamene nebo keramická), nebo čtvercového průřezu. Může být koncipovaná, jako vertikální nebo horizontální.

Nevýhody: v horizontální poloze je pinola zatížená na ohyb od vlastní hmotnosti a hmotnosti snímací hlavy. Pro kompenzování vodorovné polohy pinoly slouží vyvažovací zařízení (vyvažování pinoly je mechanické, pomocí dvou souměrných závaží), které minimalizují chyby způsobené rozdílnou délkou vysunutí pinoly.

12.4.1. Uložení pohyblivých částí

Požadavky na realizaci pohybu v jednotlivých osách jsou:

- přímočarost,
- vzájemná kolmost,
- stálost rozměrů,
- minimální vůle,
- minimální pasivní odpory.

Konstrukční řešení vzájemných pohybů jednotlivých částí (stůl, pinola, portál atd.) se většinou provádí následujícími způsoby:

Kluzné uložení – na kovových plochách při CMM malých rozměrů a vyšších tříd přesnosti.

Nevýhody: velký odpor – jen pro malé rychlosti posuvů, vyžaduje neustále mazání.

Výhody: velká tuhost, kvalita vedení se v průběhu používání zvyšuje, čímž se zvyšuje i přesnost.

Valivé uložení – vyznačuje se nízkým valivým odporem a značnou odolností proti opotřebení. Nejjednodušší řešení realizují přesné kladky. Dokonalejší jsou tzv. valivá hnízda, při kterých se vylučuje vliv mikrone rovností. Vyhovují i při velkém zatížení.

Aerostatické uložení – umožňuje vzájemný pohyb jednotlivých částí CMM bez tření po vzduchovém polštáři, šířka 4 až 8 μm .

Výhody:

- minimální odpor (i při vyšších rychlostech),
- nevzniká trhavý pohyb (známý při kluzném uložení),
- značná tuhost,
- potlačený vliv nepřesnosti povrchu.

12.5. Snímací systémy

Jednou z částí CMM je snímací systém, který slouží ke snímání bodů. Za pomoci měřicího programu vyhodnotíme a získáme numerickou informaci o měřené veličině.

Snímací systém je spojený s pinolou a skládá se ze:

- snímací hlavy,
- prodloužení snímací hlavy,
- systému výměny snímací hlavy,
- snímacího dotyku,
- systému výměny snímacího dotyku,
- prodloužení snímacího dotyku.

12.5.1. Hlavice snímacího systému

Rozlišujeme dva typy hlavic:

- pevné hlavice,
- indexovatelné (polohovatelné, natáčecí) hlavice.

Pevné hlavice (obr. 54) – nedají se v prostoru nataččet, ale dosahují vyšší přesnosti než indexovatelné hlavice.

Indexovatelné hlavice (obr. 55) – slouží na přesné polohování snímacích sond v pracovním prostoru stroje. Umožňuje nataččet sondu v jednotlivých osách a zajistit ji v požadované poloze.

Rozeznáváme dva typy indexovatelných hlavice:

- motorické hlavice,
- manuální hlavice.

Motorické hlavice - jsou určeny k polohování sondy, takže snímání je možné provádět v mnohých úhlech. Opakovatelnost hlavice umožňuje vyvolat tyto polohy bez nutnosti rekvalifikace, což šetří čas obsluhy a aplikuje sondu k povrchu v nejlepší úhlu k dosažení co nejpřesnějšího výsledku.

Využívají se i motorické hlavy se servopohonem, které zajišťují neomezené úhlové polohování a jsou ideální pro CMM s horizontálním ramenem.

Manuální hlavice (obr. 56) – jsou to ručně nastavitelné hlavice umožňující flexibilní měření i složitých tvarů na povrchu kontrolovaných součástek.

Způsoby snímání jednotlivých bodů při měření obrobku (součásti) ovlivňuje přesnost a automatizaci měření.

Snímací systémy rozdělujeme na:

- **dotykové (kontaktní) snímací systémy** – využívají se dotykové senzory,
- **bezdotykové systémy** – využívají se optické senzory apod.



Obr. 80 Pevná snímací hlavice



Obr. 81 Indexovatelná snímací hlavice



Obr. 82 Manuální hlavice

12.5.2. Dotykové snímací systémy

U starších typů CMM (při ručním řízení) se používají pevné dotyky (ve tvaru koule, kužele, válce apod.) V okamžiku nasnímání bodu, řídicí software dá povel řídicí obsluze zaregistrovat všechny souřadnice a po ukončení měření software vypočítá požadované geometrické veličiny (např. průměr kružnice, souřadnice středu, osová vzdálenost, apod.).

U CMM s CNC řízením jsou nejrozšířenější **elektrokontaktní snímací systémy**.

Elektrokontaktní snímací systémy rozdělujeme:

- systém (sondy) spínacího typu (kontaktní sonda),
- systém (sondy) snímacího typu (skenující sonda).

12.5.3. Bezdotykové systémy

Typickým představitelem tohoto měření jsou optické systémy, které jsou použité u dvousouřadnicových strojů v automatických měřicích mikroskopech, které pracují v rovině, jako dvousé měřicí systémy. Na podobném principu pracuje snímání 3D digitalizace, jako jsou CMM a Multisenorové souřadnicové stroje (stacionární a mobilní), které používají optické senzory. Multisenzorové měřicí stroje – např. počítačová tomografie.

U CMM bylo vyvinuto snímání ve formě laserové hlavy, řádkovací hlavy a speciálních pneumatických snímačů (obr. 57).

Laserové systémy

U laserových systémů se využívají dva různoběžné laserové paprsky, které se protínají v přesně definované vzdálenosti. Když dojde na měřeném objektu k průniku těchto paprsků, tak vyhodnocovací jednotka stroje zaregistruje dotyk. Laser umožňuje skenovat v jedné nebo ve třech rovinách.

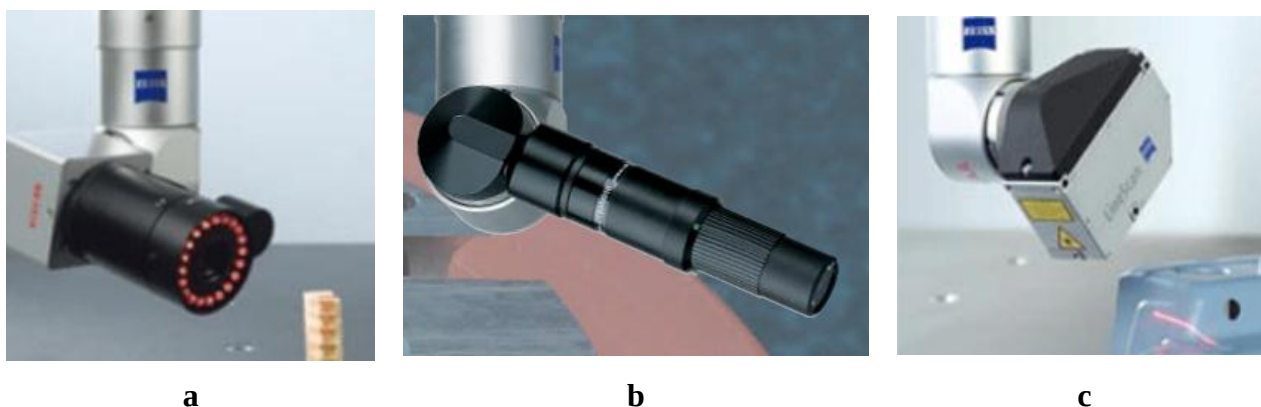
Kamerové systémy

U kamerových (optických) systémů se prostřednictvím optické kamery přenesou opticky signál na digitální obraz, který se použije k výpočtu měřených bodů ve vyhodnocovacím programu.

V současnosti se rozvíjí nový způsob bezdotykového měření tzv. počítačová tomografie.

Počítačová tomografie (CT - Computed Tomography)

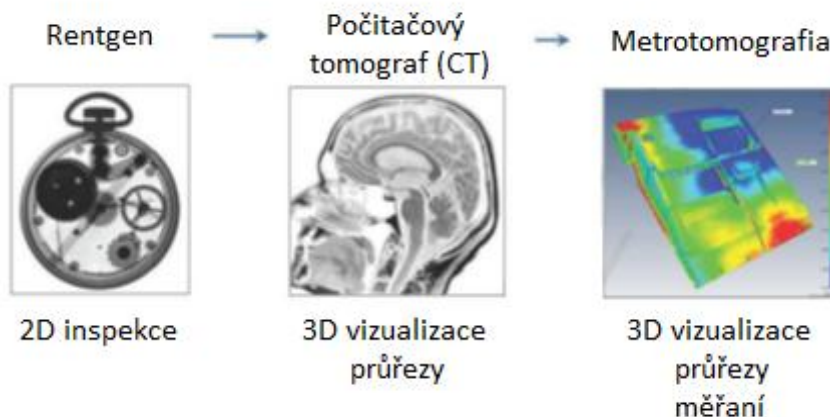
Počítačová tomografie (obr. 58) je inspekční metoda, která se využívá v oblasti medicíny na diagnostiku vnitřních orgánů, ale rozšířila se i v oblasti strojírenství a dalších jiných oblastech. Tato metoda je založená na nedestruktivním způsobu získávání informací měřeného modulu.



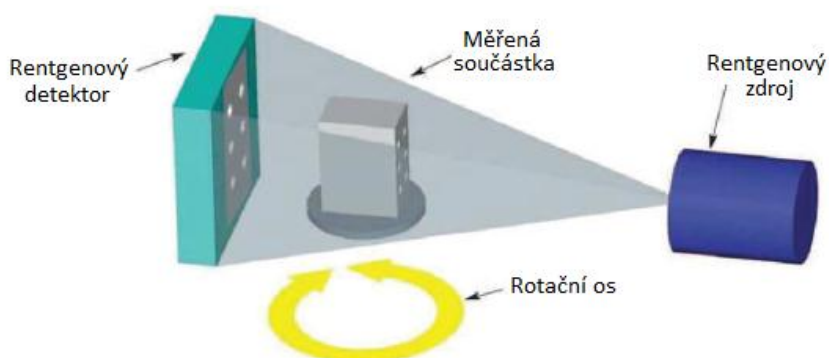
Obr. 83 Typy systémů měřicí hlavy např.: a) 2D optický kamerový (Zeiss RDS ViSCAN), b) optický bodový (Zeiss RDS DTS), c) laserový čárový (Zeiss RDS Line SCAN)

Princip počítačové tomografie (obr. 59) – mezi zdrojem rentgenového záření a detektorem, který přeměňuje záření na elektrický signál, rotuje měřená součástka okolo svislé osy. Během její rotace se v jednotlivých krocích snímání rentgenují rentgenové obrazy, tzv. rentgenogramy. Z těchto obrazů se za pomoci daného softwaru vytvoří virtuální trojrozměrný

model reálné součásti. Výstupem ze snímání jsou mračna bodů (tzv. voxely – odvozené od pojmu prostorový bod – volume pixel). Je to hustá síť uspořádaných bodů v prostoru, kde každý bod nese informaci o tom, jakou propustnost záření (hustotu materiálu) měl objekt v daném místě. Podle této složky můžeme oddělit jednotlivé složky (např. vzduch, plasty, kovy apod.) a pracovat samostatně s jednotlivými prvky.



Obr. 84 Počítačová tomografie (CT)

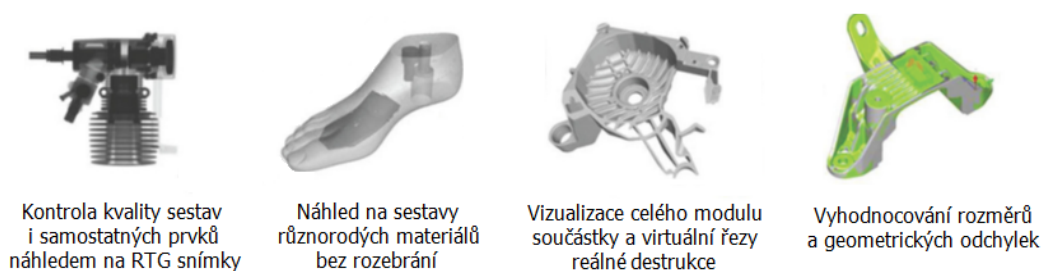


Obr. 85 Princip počítačové tomografie

Počítačová tomografie se využívá v oblasti strojírenství (automobilový, letecký průmysl), medicíny, elektrotechniky a mnoha dalších oblastech

Průmyslová tomografie ve všeobecnosti poskytuje tyto možnosti využití (obr. 60):

- Testování
 - kvalita spojů v sestavách,
 - analýza pórovitosti,
 - analýza poruch a defektů,
 - inspekce materiálu,
- Měření rozměrů vnějších a vnitřních geometrických prvků,
- RE - Reverse Engineering,
- Porovnávání celkové jmenovité geometrie s reálnou (zesnímanou) součástí.



Obr. 86 Možnosti využití počítačové tomografie

Výhody:

- vysoká přesnost snímání,
- možnost kontroly tvarově velmi komplikovaných součástí,
- možnost vyhodnotit libovolné délkové rozměry, úhly, odchylky tvaru, odchylky polohy i ve skrytých oblastech.

Nevýhody:

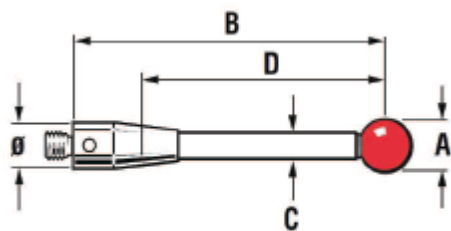
- omezené měření v závislosti od velikosti měřené součástky,
- vysoká pořizovací cena měřicího tomografu, proti jiným měřicím zařízením.

Detailnějšímu zpracování této tématiky je věnovaná kapitola „Přehled měřicích systémů.“

12.6. Měřicí dotyky

Snímací dotyky jsou součástí měřicího systému, který zprostředkovává kontakt mezi dílcem a sondou a způsobuje sepnutí v mechanismu sondy. Signál, který je přitom generovaný, umožňuje zaznamenat souřadnice nasnímaného bodu.

Typ a rozměr dotyku (obr. 61) závisí na snímaném prvku. Nejdůležitějšími vlastnostmi dotyku je tuhost dotyku a dokonalý tvar měřicí kuličky.



- A** – průměr kuličky,
B – celková délka,
C – průměr dřívku,
D – efektivní činná délka (EWL).

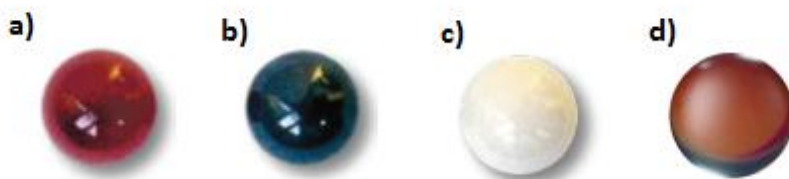
Obr. 87 Rozměry doteku

Zásady a pravidla pro výběr dotyku a měření (pro dosažení co nejvyšší přesnosti):

- volit co nejkratší dotyk (aby nedocházelo k průhybu),
- volit co nejmenší počet prodlužovacích nástavců (každý spoj dotyku je zdrojem nepřesností),
- volit co největší průměr kuličky (volbou větší kuličky se volí větší průměr stopky dotyku a tím se zvýší tuhost dotyku).

Materiálem kuličky (obr. 62) může být:

- **rubín** - nejpoužívanější u převážné většiny měřicích aplikací. Existují však dva případy, kdy se doporučují kuličky vyrobené z jiných materiálů:
 - prvním je použití výkonných skenovacích aplikací na hliníkové materiály. Tady může docházet k fenoménu nazývanému adhezní otěr, kdy se na povrchu kuličky usazuje hliník. V tomto případě je lépe použít nitrid křemíku,
 - druhým případem jsou náročné aplikace při skenování litinových povrchů. Vzájemné působení obou materiálů může u rubínové kuličky způsobit opotřebení povrchu otěrem. V těchto případech se doporučují kuličky z oxidu zirkoničitého,
- **nitrid křemíku** - má hodně společných vlastností s rubínem. Jde o velmi tvrdý materiál, odolný proti opotřebení. Nitrid křemíku vykazuje značnou míru opotřebení otěrem při kontaktu s ocelovými povrchy,
- **oxid zirkoničitý** - je velmi pevný keramický materiál s podobnou tvrdostí a opotřebením jako rubín. Díky vlastnostem povrchu je ideálním materiálem pro agresivní aplikace u litinových součástek,
- **diamant** - překonává konvenční materiály po všech stránkách a poskytuje nejpresnější a nejekonomičtější měření. Extrémní tvrdost a hladký povrch diamantové kuličky udržuje opotřebení tření na minimální hranici. Diamantové kuličky jsou vhodné téměř pro všechny měřicí aplikace, včetně velkého zatížení při skenování hliníkových dílů.

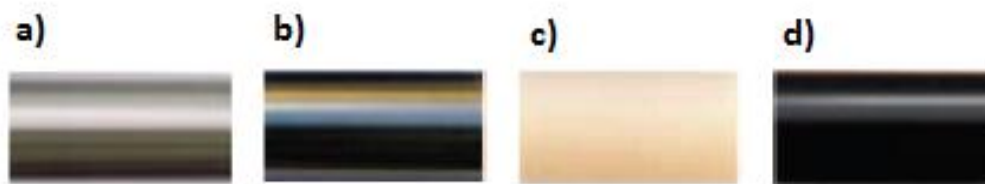


Obr. 88 Materiály kuliček
a) rubín, b) nitrid křemíku, c) oxid zirkoničitý, d) diamant

Materiál stopky (dříku) měřicího dotyku

Materiálem stopky (obr. 63) může být:

- **ocel** - stopky vyrobené z nemagnetické nerezavějící oceli jsou využívané materiály pro dotyky s kuličkou, nebo hrotem s průměrem 2 mm, nebo větším a délky do 30 mm (v tomto rozmezí poskytují optimální poměr tuhosti a hmotnosti stopky),
- **karbid wolframu** - stopky vyrobené z tohoto materiálu jsou optimálním řešením pro max. tuhost a min. průměr stopky (tyto parametry vyžadované pro průměr kuličky pod 1 mm a délky do 50 mm),
- **keramika** - keramické stopky dotyků zajišťují dostatečnou ochranu sondy proti havárii (v případě kolize se dotyk roztříští). Při průměru kuličky nad 3 mm a délce nad 30 mm poskytují stopky tuhost porovnatelnou s ocelí,
- **uhlíková vlákna** – ideální řešení pro stopky určené pro vysoce přesné sondy založené na tenzometrickém principu (vykazuje vynikající charakteristiku tlumení vibrací a zanedbatelný koeficient tepelné roztažnosti).

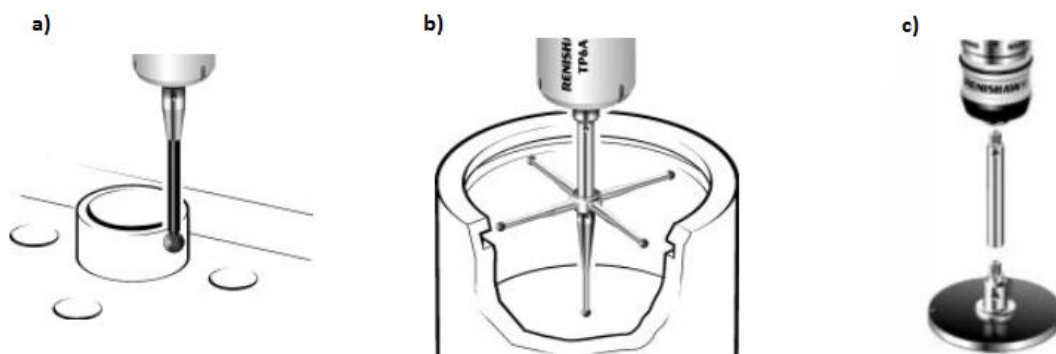


Obr. 89 Materiály pro stopky dotyků
a) ocel, b) karbid wolframu, c) keramika, d) uhlíková vlákna

Typy dotyků

Rozdělení typů dotyků (obr. 64):

- **přímé** – jde o nejjednodušší tvar, který se skládá z přesné kuličky a stopky,
- **hvězdicové** – díky konfiguraci dotyků umožňuje snímání složitých prvků, nebo otvorů, přičemž kuličky se čtyřmi, nebo pěti kuličkami jsou pevně připevněny ke střednímu dílu,
- **diskové** – používají se ke snímání zápichů a drážek, kde se nedá použít hvězdicový dotyk. Způsob měření je podobný k měření s dotykem o velkém průměru, ale je využita malá část povrchu pro kontakt.
- **dotyky pro speciální účely** (obr. 65) – řadíme sem:
 - válcový dotyk,
 - špička,
 - dutá keramická polokoule,
 - dotyk na ustavení nástrojů.

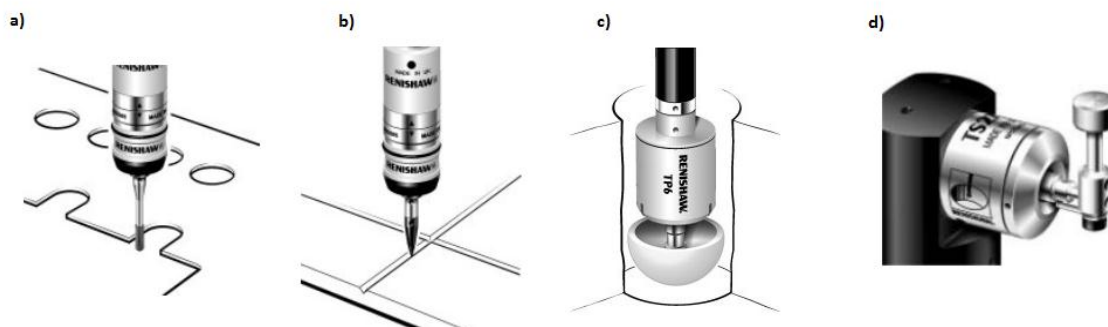


Obr. 90 Základní typy dotyků
a) přímý dotyk, b) hvězdicový dotyk, c) diskový dotyk

Prodloužení dotyku

Použitím prodlužovacích nástavců se sníží tuhost dotyku a tím se sníží přesnost sondy (neplatí to u tenzometrického měření).

Nadstavením dotyku lze lehčeji proniknout do otvorů, např. u válců motorů.



Obr. 91 Dotyky pro speciální účely

a) válcový dotyk, b) špička, c) dutá keramická polokoule, d) dotyk na ustavení nástrojů

12.7. Řídicí systém

Řídicí systém tvoří mozek celého CMM. Mezi jeho úlohy patří koordinace pohybů pohyblivých částí CMM, jako je pohyb sondy, suportu pinoly a dalších pohyblivých částí. Tato úloha je velmi složitá, protože se musí zabezpečit plynulý a jemný pohyb. Při kontaktu měřicího dotyku se součástí se musí odměřit okamžité souřadnice bodu dotyku při konstantní síle měření.

Ovládání řídicích pohybů CMM může být:

- manuální,
- manuální s podporou počítače (řídicího programu),
- motorizované s podporou počítače (řídicího programu),
- automatické (přímo kontrolované počítačem - DCC).

Podle způsobu vedení dotyku se způsoby řízení rozdělují na:

- řízení od bodu k bodu,
- dráhové řízení,
- tvarové řízení,
- vektorové řízení.

Řídicí systém, mimo řízení pohybů stroje, zpracovává i údaje z měřicích sond a formuje výstupy před odesláním do měřicího softwaru, jako jsou např.: Metrolog GP, Calypso, Virtual DMIS, PCDMIS, Metrosoft, Camio a jiné.

12.8. Princip souřadnicového měření

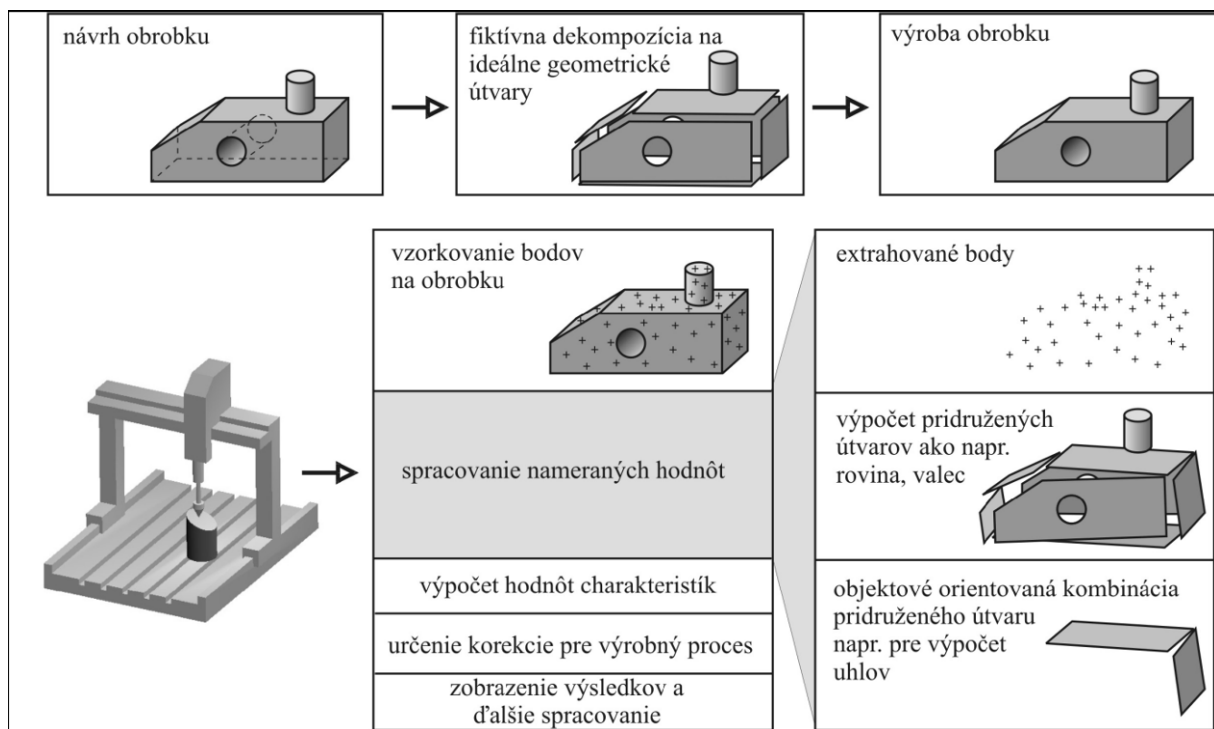
Princip souřadnicového měření spočívá v nasnímání bodu a určení jeho koordináty (polohy os x, y, z) vůči počátku souřadnicového systému CMM.

Postup měření na souřadnicových CMM lze obecně rozdělit do následujících kroků:

1. Prostudovat si výkresovou dokumentaci.
2. Určit příslušný souřadný systém, ve kterém se realizuje plán měření (kartézský nebo polární),

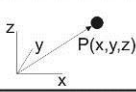
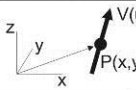
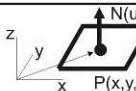
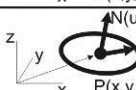
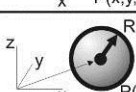
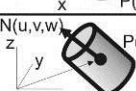
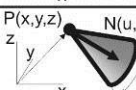
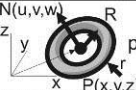
3. Rozložit si měřenou součástku na základní geometrické elementy – každému elementu odpovídá minimální počet nasnímaných bodů (obr. 67).
4. Navrhnout vhodnou metodu základního vyrovnaní součástky (např. metoda 3-2-1, RPS, MPA apod.) - odeberou šest stupňů volnosti měřené součástce.
5. Změřit vybrané geometrické elementy pro základní vyrovnaní a následně na nich aplikovat jednu z výše uvedených metod vyrovnaní. Po aplikaci vhodné metody se přenesou souřadný systém stroje automaticky na měřenou součástku.
6. Změřit ostatní geometrické elementy (na základě vztahů mezi elementy se vyhodnocují např. rozměry, geometrické odchylky tvaru a polohy ...),
7. Interpretace výsledků v měřicím protokolu.

Parametry, které popisují skutečný povrch obrobku v ideálním tvaru, se vypočítávají pomocí software z naměřených hodnot souřadnic. Tyto parametry se mohou použít pro kontrolu obrobku, nebo zda daný geometrický tvar vyrobeného obrobku vyhovuje daným konstrukčním požadavkům (obr. 66).



Obr. 92 Princíp souřadnicového měření

Při CMM je potřeba pochopit postupnost tvorby měřicího programu, na základě jehož se odvíjí celkové měření.

Útvary	Príklady a popisujúce parametre	Minimálny počet bodov pre definovanie	Príklady v praxi
Bod 	 pozičný vektor $P(x,y,z)$	1	 roh hranola (priesečník troch pravouhlých rovin)
Priamka 	 bod smer $V(u,v,w)$ $P(x,y,z)$	2	 hrana hranola (priesečník dvoch pravouhlých rovin)
Rovina 	 bod kolmica $N(u,v,w)$ $P(x,y,z)$	3	 rovina hranola
Kružnica 	 bod kolmica polomer $N(u,v,w)$ $P(x,y,z)$ R	3	 vzťažná kružnica dier
Gul'a 	 bod polomer $P(x,y,z)$ R	4	 upínanie príviesného vozíka
Válec 	 bod smer polomer $N(u,v,w)$ $P(x,y,z)$ R	5	 hriadeľ
Kužeľ 	 bod smer uhol kužeľa $N(u,v,w)$ $P(x,y,z)$ R α	6	 upínací kužeľ vŕtačky
Anuloid 	 bod, smer polomer prstenca polomer vodiča $N(u,v,w)$ $P(x,y,z)$ R r	7	 zaoblenie na válci

Obr. 93 Základní geometrické útvary

12.9. Metody měření na CMM

Při měření na CMM se potřebné parametry (rozměrů, tvarů a polohy) získávají nepřímo z naměřených kartézských (polárních, popř. válcových) souřadnic v rovině nebo v prostoru.

Přesnost hodnoty výsledné veličiny je tedy závislá na řadě vstupních veličin.

Prvním krokem je (vždy) sestavení plánu průběhu měření. Ten obsahuje tzv. „strategii měření“, ve které se přesně formulují předepsané požadavky na přesnost výsledků měření, a hledá se optimální postup k jeho dosažení.

Každý operátor CMM musí být dokonale seznámen s možnostmi daného stroje. Při sestavování průběhu měření musí operátor CMM dodržovat základní zásady:

- osazení obrobku stabilním způsobem - na co největší plochu,
- měřicí základny by měly korespondovat se základnami konstrukčními,
- v co největší míře provádět slučování měřicích operací,
- osazení obrobku tak, aby se dal proměřit v jedné poloze,
- volba minimálního počtu dotyků,
- volba měřicích bodů tak, aby byl postup co nejkratší,
- snímací body mají být rovnoměrně rozloženy na měřeném geometrickém prvku, nejlépe síťovým způsobem,
- počet snímaných bodů volit o 2 až 3 více, než vyžaduje geometrická definice,

- směr pohybu snímače před dotykem by měl souhlasit se směrem některé z os,
- kruhové nebo kulové tvary je potřeba snímat párovými dvojicemi – diametrálně,
- při statistické interpretaci výsledku měření vyhodnotit minimálně 30 bodů,
- body měřeného geometrického prvku je vhodné znázornit graficky, aby bylo možné vyloučit hrubé chyby,
- vyhodnotit dosaženou nejistotu měření a porovnat ji s požadovanou hodnotou nejistoty.



Shrnutí kapitoly

Třísouřadnicové měřicí zařízení (CMM), Jednosouřadnicové měřicí stroje, Dvousouřadnicové měřicí stroje, Třísouřadnicové měřicí stroje, Stojanový (sloupový) typ, Výložníkový typ, Portálový typ, Mostový typ, Rá, Stůl, Sloupy, portály a mostové konstrukce, Most, Pinola, Kluzné uložení, Valivé uložení, Aerostatické uložení, Pevné hlavice, Indexovatelné hlavice, Motorické hlavice, Manuální hlavice, Laserové systémy, Kamerové systémy, Počítačová tomografie (CT - Computed Tomography), Materiál kuličky (rubín, nitrid křemíku, oxid zirkoničitý, diamant), Materiál stopky (ocel, karbid wolframu, keramika, uhlíková vlákna), Typy dotyků (přímé, hvězdicové, diskové, dotyky pro speciální účely).



Kontrolní otázka

- O 12.1 Jaké typy souřadnicových měřicích strojů znáte?
- O 12.2 Vyjmenujte hlavní mechanické prvky souřadnicového měřicího stroje.
- O 12.3 Vyjmenujte uložení pohyblivých částí souřadnicového měřicího stroje.
- O 12.4 Jaké jsou nejčastěji používané délkové měřicí systémy?
- O 12.5 Vyjmenujte hlavní faktory, které ovlivňují výsledek měření na souřadnicovém měřicím stroji.
- O 12.6 Vyjmenujte faktory, které nejvíce ovlivňují přesnost měření.
- O 12.7 Jaké zdroje chyb mohou být u měřicího dotyku?
- O 12.8 Vysvětlíte pojem základna měření.
- O 12.9 Jak dělíme snímací systémy?
- O 12.10V jakých souřadnicích měří souřadnicový měřicí stroj?

13. ŘÍZENÍ KVALITY V METROLOGII

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- Definici kvality.
- Systém řízení měření.
- MSA

Budete umět

Budete schopni:

- Orientovat se v problematice řízení kvality.
- Orientovat se v MSA – Measuring System Analysis.
- Analyzovat rozdíly mezi MSA a VDA5

Budete schopni

Tempo dnešního světa je velmi rychlé a hektické, s požadavkem současného i budoucího uspokojení zákazníka a odhadnutí jeho nastávajících potřeb, tj. vyrábět kvalitní výrobky prostřednictvím kvalitních procesů a poskytování kvalitních služeb. Co to však kvalita ve skutečnosti je? Všeobecně je možné kvalitu definovat jako **subjektivní preferenci zákazníka**. Podle ČSN EN ISO 9000:2005, odstavec 3.1.1 - kvalita je stupeň splnění požadavků souborem inherentních znaků.



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- definovat kvalitu a systém měření kvality
- orientovat se v systému MSA



Výklad

13.1. Definice kvality

Pojem kvalita může být analyzován z různých pohledů:

- Pohled Deminga - kvalita je posuzovaná ve vztahu k zákazníkovi a jeho potřebám, pro které se rozhodl produkt použít, přítomnost procesu neustálého zlepšování,
- Pohled Jurana – z pohledu dlouhodobé životnosti je podstatná dostupnost, spolehlivost a udržitelnost,
- Pohled Cosbyho – dosahování kvality se rovná shodě s požadavky,

Legislativní zodpovědnost za výrobky

Potřeba zavedení a implementace systému managementu kvality a systému řízení měření souvisí s faktem dosahování cílů kvality a s požadavky právní zodpovědnosti každého podnikatelského subjektu zabezpečit ochranu spotřebitele a se všeobecnou zodpovědností za výrobek. Rámcovými dokumenty je směrnice rady ES 85/374/EEC o zodpovědnosti za chybné výrobky a směrnice 92/59/EEC o všeobecné bezpečnosti výrobků. Dané směrnice zabezpečují sblížování zákonů a jiných právních a správních předpisů členských států EU. V podmínkách právního systému České republiky jsou pro ochranu spotřebitele platné následující zákony:

- **Zákon č.59/1998 Sb.** odpovědnosti za škodu způsobenou vadou výrobku ve znění, **zákona č.209/2000 Sb.** o obecné bezpečnosti výrobků a o změně některých zákonů,
- **Zákon č.102/2001 Sb.** o o obecné bezpečnosti výrobků a o změně některých zákonů (zákon o obecné bezpečnosti výrobků),
- **Zákon č.22/1997 Sb.** o technických požadavcích na výrobky a související předpisy,
- **Zákon č.110/1997 Sb.** o potravinách a tabákových výrobcích a o změně a doplnění některých souvisejících zákonů,
- **Zákon č.258/2000 Sb.** o ochraně veřejného zdraví a související předpisy.

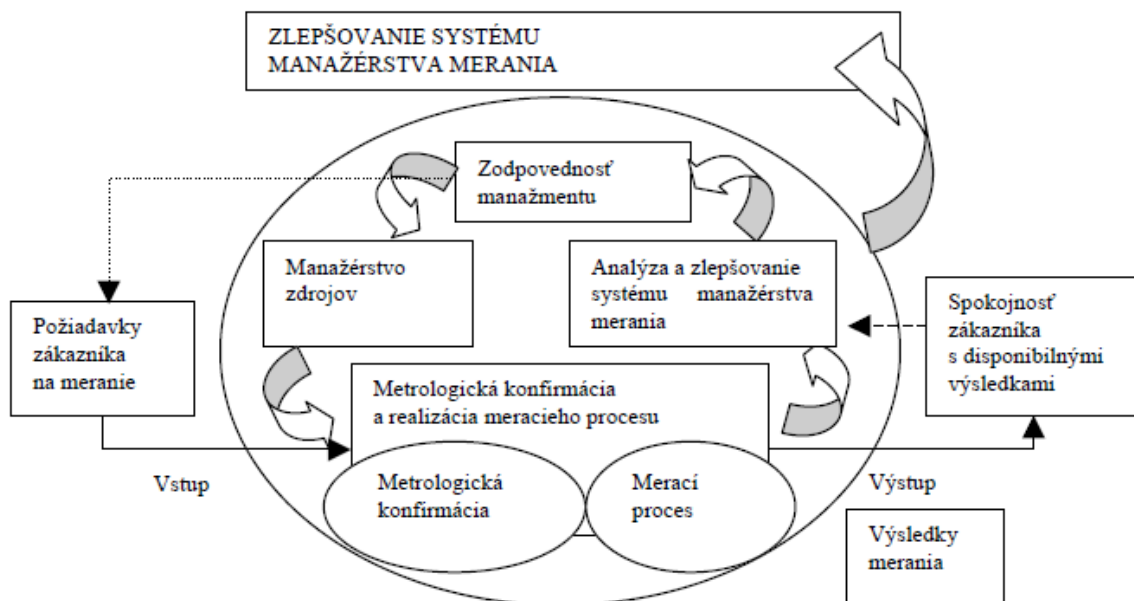
Mimo vzpomenutých zákonů platí též celá řada dodatečných zákonů, směrnic a nařízení, které se postupně harmonizují podle požadavků EU a jejich dodržování je zabezpečeno prostřednictvím kontrolních úřadů jako např. Česká obchodní inspekce (ČOI), Státní zemědělská a potravinářská inspekce (SZPI), Státní veterinární služba a Hygienická služba.

13.2. Systém řízení měření a zařízení na monitorování měření

Důležitým podsystémem systémů řízení kvality je systém řízení měření, který zabezpečuje, že měřicí zařízení a měřicí procesy vyhovují požadovanému použití ve smyslu normy %CSN EN ISO 10012:2003 – Systémy manažerství měření. Při budování systému je požadováno též rozdělení zodpovědnosti, činnosti a způsob dosažení žádané přesnosti. Kardinálním principem managementu kvality je rozhodování na základě faktů – na základě naměřených hodnot. Cílem systému řízení měření je rozpoznání nesprávných výsledků měření získaných prostřednictvím vybraných měřicích zařízení a měřicích postupů, což by mohlo mít za následek výrobu neshodných kusů. Uvádění nejistoty měření neznámá identifikaci nedostatku nebo negativního vlivu, ale reálný popis měření – komplexní výsledek měření. Nejistota měření není identická s chybou měření, jako je mnohokrát nesprávně uváděno v literatuře.

Používané metody v systému řízení měření jsou různorodé a začínají od základních pozorování měření a charakteristik měřicího zařízení až po rozsáhlé použití statistických technik v měřicích procesech. Jejich úroveň stanovuje organizace, stejně jako zařízení na monitorování a měření.

Při nutnosti zajištění platnosti výsledků musí být měřicí zařízení v určitých intervalech kalibrována, verifikována v porovnání s metrologickými etalony (mezinárodními a národními), nebo musí být zabezpečena základna kalibrace a verifikace. Zařízení musí být dále identifikovatelné, aby se mohl určit stav jejich kalibrace, existuje podmínka jejich nastavitelnosti, opětovné nastavitelnosti a ochrany nastavení před znehodnocením výsledků měření stejně jako potřeba ochrany před poškozením a znehodnocením během manipulace, údržby a skladování.



Obr. 94 Model systému manažerstva měření podle normy ČSN EN ISO 10012:2003

Pokud je zjištěna neshodnost zařízení s požadavky, organizace musí posoudit platnost předcházejících výsledků měření a udělat o tom záznam. Následně musí být vykonána nová kalibrace zařízení a záznamy z kalibrace a verifikace musí být čitelně, lehce identifikovatelné a dostupné. Požadavky na měřicí zařízení a procesy se mohou vyjádřit ve formě největší dovolené chyby, rozsahu, nejistoty, citlivosti, stability, zručnosti obsluhy nebo environmentálních podmínek.

Podporou systému řízení měření je **konfirmace měřicího zařízení**, tzv. metrologická konfirmace a **řízení měřicích procesů**.

Základním předpokladem budování konfirmačního systému je definování metrologických požadavků na měřicí zařízení. Konkrétní nebo potenciální požadavky zákazníka na měření musí být stanoveny pře započítím práce na výrobku nebo službě s ohledem na předpoklady výrobce měřicího zařízení, norem, předpisů, apod. Co se týká řízení měřicích procesů, je potřeba si uvědomit respektování dokumentovaných postupů. Výhodou systémů řízení měřicích procesů je téměř okamžité určení odchylek mimo toleranční hranice. Priorita je vždy kladena výsledkem měřicích procesů se značným vlivem na kvalitu výrobku, procesu nebo služby.

Systém řízení měřicích procesů se skládá z:

1. **identifikace měřicího procesu** - určení vhodného časového rozvrhu měření a požadavek na přesnost,
2. **respektování konfirmačního systému pro měřicí zařízení**,
3. **analyzování databáze údajů pro řízení měřicích procesů**,
4. **implementace nápravných opatření**.

Protože proces měření je ovlivněn variabilitou během měření byly vypracovány metodiky na analýzu systému měření, tzn., nejedná se pouze o posouzení výsledku měření, jako je tomu při určování nejistoty měření. Cílem analýzy systému měření je určení zdrojů nepřesnosti za účelem jeho vylepšení. Mezi základní zdroje nepřesností patří výrobek, použité měřicí zařízení, podmínky prostředí měření a operátor.

K metodám určení kvality měřicího systému v automobilovém průmyslu patří metody na výpočet komplexní způsobilosti měřicího systému metodikou MSA – Analýza systému měření (Measurement System Analysis) – 4. vydání a VDA5 – Vhodnost kontrolních systémů – 2. vydání. Obě metodiky jsou zjednodušením metodiky GUM – Guide to the expression of Uncertainty in Measurement. Uplatňování analýzy systému měření je vyžadováno normou ISO/TS 16 494 u všech dodavatelů pro automobilový průmysl.

13.3. MSA – Measurement System Analysis

Následující část bude věnována vysvětlení základní metodiky MSA. Příručka MSA se neustále vyvíjí a je pouze úvodem k analýze systému měření. Jejím záměrem je omezovat vývoj metod analýzy vhodných pro určité procesy nebo komodity. Historie vzniku metodiky MSA je spojená s rokem 1990 s poptávkou po sjednocení individuálních směrnic společností Chrysler, Ford a General Motors pro analýzu kvality systému měření, určení kvality naměřených dat a určení významného vztahu mezi více proměnnými. Metodika MSA je určena zejména pro procesy měření, kde existuje možnost opakovatelnosti. Nejčastějším důvodem vzniku databáze nízké kvality je fakt, že existuje v souboru naměřených dat příliš velká variabilita zapříčiněná interakcí systému měření a jeho prostředí. Proto je kladen významný důraz na generování dat pouze přijatelné kvality.

Přehled používané terminologie (v příručce MSA):

- **Měření (Measurement)** – podle C. Eisenharta je to „přirazování čísel nebo hodnot hmotným věcem za účelem reprezentování jejich vzájemných vztahů s ohledem na konkrétní vlastnosti“.
- **Měřidlo (Gage)** – je to jakékoliv zařízení používané na měření.
- **Systém měření** – je to komplexní množina přístrojů nebo měřidel, etalonů, operací, metod, přípravků, personálu, prostředí a software využívaných na definování jednotek měření.
- **Etalon (Standard)** – definovaná hodnota v rozsahu stanovených tolerancí nejistoty, která je přijata jako pravá (referenční) hodnota.
- **Efektivní rozlišení (Effective resolution)** – citlivost systému měření k variabilitě procesu při individuální úloze a použití.
- **Referenční hodnota (Reference value)** – odsouhlasená hodnota artefaktu, která je používána jako pravá hodnota artefaktu.
- **Pravá hodnota (True value)** – je neznámá a je to skutečná hodnota artefaktu.

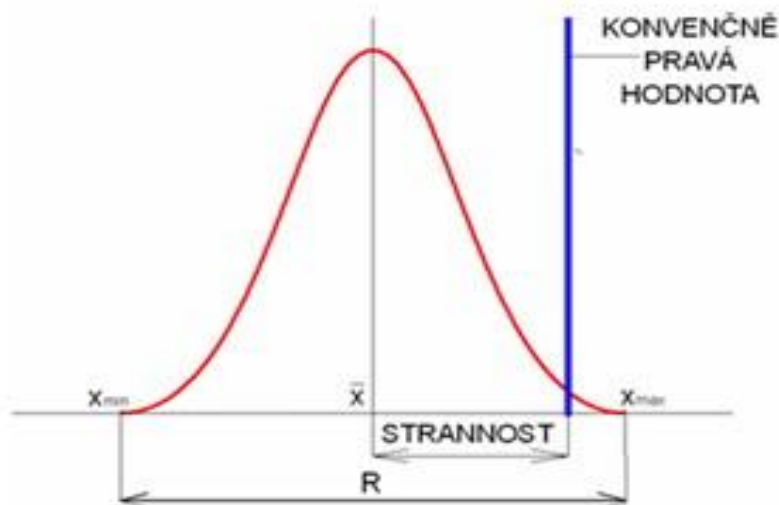
Při řešení MSA se sledují následující statistické vlastnosti systému měření:

- Variabilita polohy.
- Variabilita rozptylu.
- Variabilita systému.

13.3.1. Variabilita polohy:

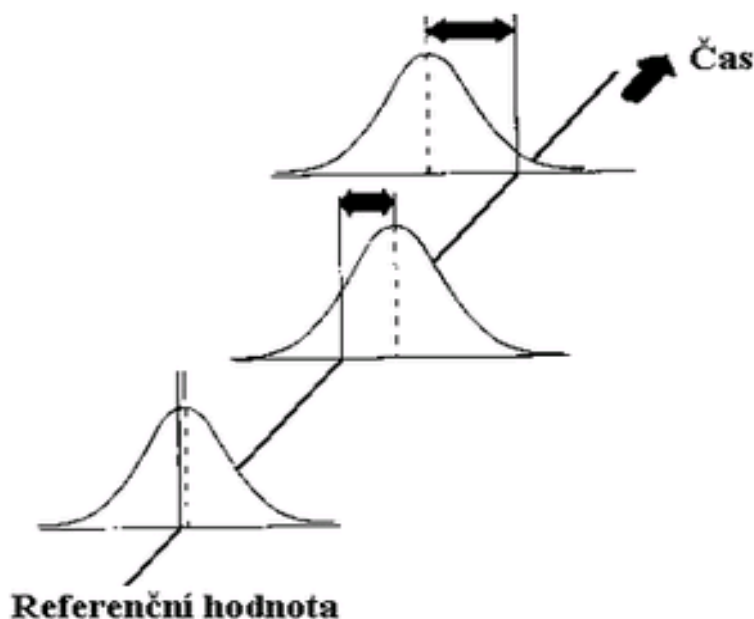
1. **Přesnost (Accuracy)** – „těsnost“ v porovnání s pravou hodnotou resp. přijatou referenční hodnotou.
2. **Strannost (Bias)** – je identifikovaná jako složka systematické chyby měření a je to rozdíl mezi referenční hodnotou a průměrem měření. Důvodem jejího vzniku mohou být příčiny, jako je nesprávná kalibrace, opotřebení měřicího zařízení, nevhodně

vybrané měřidlo pro daný účel měření, odlišná metoda měření, vlivy prostředí např. teplota, vlhkost, vibrace, čistota.



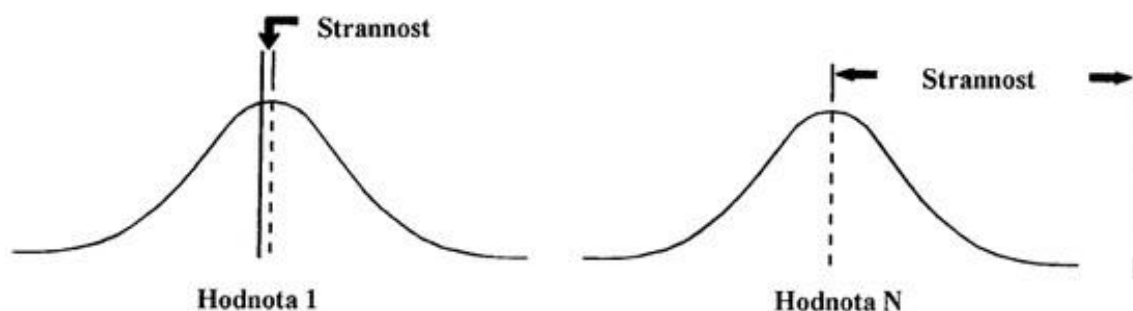
Obr. 95 Strannost měření

3. **Stabilita (Stability)** – stabilizovaný proces měření ve statisticky regulovaném stavu vzhledem k poloze, také změna strannosti v čase. Zdroje nestability mohou být opotřebený přístroj, zařízení nebo přípravek, nevyhovující údržba, odlišná metoda měření, nesprávná kalibrace a nesprávné použití hlavního etalonu.



Obr. 96 Stabilita měření

4. **Linearita (Linearity)** – změna strannosti v běžném rozsahu a závislost násobných a nezávislých chyb, složky systematické chyby. Příčiny linearity mohou být následující: nesprávná kalibrace měřidla, měřicí zařízení špatné kvality, nesjednocená metoda měření, špatná údržba.



Obr. 97 Linearita systému měření

13.3.2. Variabilita rozptylu:

1. **Shodnost (Precision)** – složka náhodné chyby, těsnost souhlasu mezi nezávislými výsledky zkoušky.
2. **Opakovatelnost (Repeatability)** – označení EV – variabilita zařízení, variabilita opakovaného měření naměřená jedním měřicím zařízením při měření identické charakteristiky stejného dílu. Přípustné příčiny nevyhovující opakovatelnosti mohou být zapříčiněné dílem (konzistence výběru, forma, poloha, povrchová úprava, zkosení), přístrojem (oprava, opotřebení, chyba zařízení, špatná údržba), etalonem (kvalita, třída, opotřebení), metodou (variabilita nastavení, technika, uchycení resp. upnutí při měření), operátorem (technika, poloha, nedostatek zkušeností, odbornost při manipulaci, cit, únava), prostředím (výkyvy teploty, vlhkosti, vibrace, osvětlení, míra čistoty prostředí)

$$EV = \frac{\overline{R}}{d_2^*} \quad (1)$$

kde:

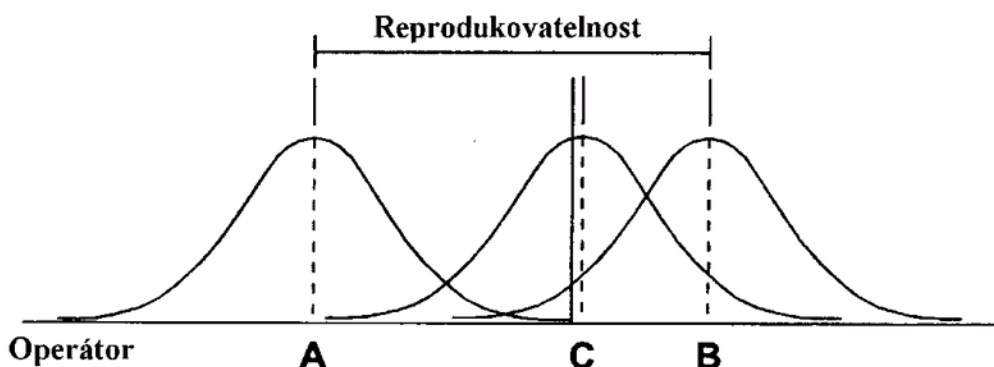
$\overline{R}$ je průměrné rozpětí opakovaných měření všech operátorů,

d_2^* je koeficient závislý na počtu opakování měření, součinu počtu měřených součástí a počtu operátorů.



Obr. 98 Opakovatelnost

3. **Reprodukovatelnost (Reproducibility)** – označení AV – variabilita operátora, variabilita průměru měření jedním měřicím přístrojem za předpokladu měření stejné charakteristiky u stejného dílu. Jedná se o variabilitu systému měření ovlivněnou chováním operátorů jako vysvětluje obr. 73.



Obr. 99 Reprodukovatelnost

Reprodukovatelnost může být definována jako variabilita mezi systémy měření nebo mezi podmínkami měření. Proto potenciační zdroje variability mohou vznikat mezi díly (průměrný rozdíl při měření dílu typu A, B, C za předpokladu použití stejného měřicího zařízení, operátora a metody), mezi měřicími zařízeními (průměrný rozdíl při použití měřicích zařízení typu A, B, C za předpokladu použití stejných dílů, operátorů a v podmínkách stejného prostředí), mezi etalony (vliv prostředí), mezi měřicími metodami (změna systému měření, např. z ručních na automatizované, nulování, způsoby uchycení měřeného dílu), mezi operátory (vliv zkušeností s použitím měřicí techniky, odbornosti) a mezi prostředím (cykly prostředí).

$$AV = \sqrt{\left(\frac{R_0}{d_2^*}\right)^2 - \left(\frac{(EV)^2}{n \cdot r}\right)} \quad (2)$$

kde:

R_0 je variační rozpětí průměru opakovaných měření jednotlivých kusů jednotlivými operátory,

r je počet měřených kusů,

n je počet opakovaných měření,

d_2^* je koeficient závislý od počtu operátorů.

Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla (GRR nebo R&R) - daná metoda může a také nemusí zahrnovat účinky času, jedná se o kombinovaný odhad opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření.

$$GRR = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2} \quad (3)$$

Také platí, že GRR je součet rozptylu uvnitř systému a mezi systémy.

$$\sigma_{GRR}^2 = \sigma_{reprodukovatelnost}^2 + \sigma_{opakovatelnost}^2 \quad (4)$$

4. **Způsobilost systému měření (Measurement system capability)** – krátkodobý výpočet variability systému měření např. „GRR“ spolu s grafickým znázorněním.

5. **Funkčnost systému měření (Measurement system performance)** – dlouhodobý výpočet variability systému měření.
6. **Citlivost (Sensitivity)** – je daná prahem citlivosti měřidla – je to schopnost reakce systému měření na změny měřeného prvku, vlastní kvalitou od výrobce originálního zařízení, provozním stavem přístroje, etalonu a údržby.
7. **Konzistence (Consistency)** – vyjadřuje statisticky zvládnutý stav vzhledem k variabilitě a je to stupeň změny opakovatelnosti v čase.
8. **Uniformita (Uniformity)** – je homogenita opakovatelnosti a vyjadřuje změnu opakovatelnosti v běžném provozním rozsahu.

13.3.3. Variabilita systému:

1. **Způsobnost (Capability)** – variabilita získaná v krátkém časovém úseku při odečítání hodnot.
2. **Funkčnost (Performance)** – variabilita získaná v dlouhém časovém úseku při odečítání hodnot.
3. **Nejistota (Uncertainty)** – rozmezí hodnot okolo měřené veličiny, která je považovaná za pravou hodnotu.

Na měření kvantitativních proměnných se využívá studium opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření.

Mezi nejpoužívanější metody patří:

- **Metoda založená na rozpětí** – metoda je též známá pod termínem „rychlá metoda“ a umožňuje rychlou aproximaci měření.
- **Metoda průměrů a rozpětí** – metoda je oproti předchozí metodě nákladnější a náročnější na čas. Její výhody: poskytuje odhad opakovatelnosti a reprodukovatelnosti systému měření. Nevýhody: nevyjadřuje jejich vzájemné působení.
- **Metoda ANOVA** - jedná se o standardní statistickou metodu, která je vhodná na analyzování chyby měření a jiných zdrojů variability údajů při analýze systému měření.

Výhody použití metody MSA oproti VDA5:

- Rozsah použitelnosti je rozsáhlejší než VDA5, kterou je možno uplatnit pouze na výpočet geometrických veličin.
- Metodika MSA dovoluje výpočet všech vlivů na systém měření (reprodukovatelnost a opakovatelnost) při jednom rozsáhlejší měření; metodika VDA5 měří vlivy odděleně.
- MSA udává grafické výstupy analýzy např. při výpočtu GRR a VDA5, neudává jediný grafický výstup.

Ve všeobecnosti je metodika MSA při využití softwarové podpory v obou případech více používaná, rozšířenější a praktičtější než metodika VDA5.



Shrnutí kapitoly

Měření (Measurement), Měřidlo (Gage), Systém měření, Etalon (Standard), Referenční hodnota (Reference value), Pravá hodnota (True value), Efektivní rozlišení (Effective resolution), Přesnost (Accuracy), Strannost (Bias), Stabilita (Stability), Linearita (Linearity), Shodnost (Precision), Opakovatelnost (Repeatability), Reprodukovatelnost (Reproducibility), Způsobnost systému měření (Measurement system capability), Funkčnost systému měření (Measurement system performance, Citlivost (Sensitivity), Konzistence (Consistency), Uniformita (Uniformity) Způsobnost (Capability), Funkčnost (Performance), Nejistota (Uncertainty).



Kontrolní otázka

- O 13.1 Co je to analýza systému měření (MSA)?
- O 13.2 Co je to nejistota měření?
- O 13.3 Jaký je rozdíl mezi nejistotou měření a analýzou systému měření?
- O 13.4 Co je způsobnost měřicího procesu?
- O 13.5 Co má obsahovat kompletní specifikace měřicího procesu?
- O 13.6 Co je opakovatelnost?
- O 13.7 Co je reprodukovatelnost?
- O 13.8 Definujte standardní nejistotu (u).
- O 13.9 Definujte kombinovanou standardní nejistotu (u_c)



CD-ROM

Na přiloženém CD a na serveru <http://vyuka.fs.vsb.cz> jsou vytvořena videa a animace, která Vám usnadní orientaci v problematice a řešení konkrétních příkladů:

- VIDEO Č.1 – KALIBRACE POSUVNÉHO MĚŘIDLA
- VIDEO Č.2 – KALIBRACE MIKROMETRU
- VIDEO Č.3 – POUŽITÍ KONCOVÝCH MĚREK
- VIDEO Č.4 – MĚŘENÍ POSUVNÝM MĚŘIDLEM
- VIDEO Č.5 – MĚŘENÍ TRMENOVÝM MIKROMETREM
- VIDEO Č.6 – MĚŘENÍ ČÍSELNÍKOVÝM ÚCHYLKOMĚREM
- VIDEO Č.7 – DVOUBODOVÁ A TŘÍBODOVÁ METODA MĚŘENÍ
- VIDEO Č.8 – POUŽITÍ KALIBRU
- VIDEO Č.9 – MĚŘENÍ VNĚJŠÍHO KUŽELE POMOCÍ VÁLEČKŮ STEJNÉHO PRŮMĚRU
- VIDEO Č.10 – MĚŘENÍ SINUSOVÝM PRAVÍTKEM
- VIDEO Č.11 – MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU
- VIDEO Č.12 – MĚŘENÍ VNĚJŠÍHO ZÁVITU
- VIDEO Č.13 – KONTROLA VNĚJŠÍHO OZUBENÍ



Použité a další zdroje

- [1] TNI 01 0115 MEZINÁRODNÍ METROLOGICKÝ SLOVNÍK – ZÁKLADNÍ A VŠEOBECNÉ POJMY A PŘIDRUŽENÉ TERMÍNY (VIM).
- [2] ZÁKON 505/1990 SB. – O METROLOGII. 1990.
- [3] ZÁKON 119/2000 SB. – O METROLOGII. 2000.
- [4] ČMI. BRNO. ZÁKLADNÍ PRVKY NÁRODNÍHO METROLOGICKÉHO SYSTÉMU ČR A MEZINÁRODNÍ METROLOGICKÁ SPOLUPRÁCE. 2007. 43 STRAN.
- [5] PALEŇČÁR, R., HALAJ, M.: METROLOGICKÉ ZABEZPEČENIE SYSTÉMOV RIADENIA KVALITY, STU BRATISLAVA. 1998.
- [6] TICHÁ, ŠÁRKA. STROJÍRENSKÁ METROLOGIE : ČÁST 1. OSTRAVA. VŠB – TU OSTRAVA, 2004. ISBN 80-248-0672-X.
- [7] ZÁKLADNÍ JEDNOTKY SI SOUSTAVY [ONLINE] [CIT. 2011-08-11] DOSTUPNÝ NA WWW [HTTP://WWW.CONVERTER.CZ/JEDNOTKY.HTM](http://www.converter.cz/jednotky.htm).
- [8] OSANNA, P. PŘESNOST MĚŘENÍ A NEJISTOTY MĚŘENÍ.
- [9] DOVICA MIROSLAV A KOLEKTÍV.: METROLÓGIA V STROJÁRSTVE, 2006. KOŠICE : EDÍCIA VEDECKEJ A ODBORNEJ LITERATÚRY - STROJNÍCKA FAKULTA TU V KOŠICIACH, 351 S. ISBN 80-8073-407-0.

- [10] POSUVNÁ MĚŘÍTKA [ONLINE] [CIT. 2012-04-21] DOSTUPNÝ NA WWW [HTTP://WWW.KLZ.CZ/KATALOGY/MAHR/MAHR_01_MARCAL.PDF](http://www.klz.cz/KATALOGY/MAHR/MAHR_01_MARCAL.PDF).
- [11] MIKROMETRY [ONLINE] [CIT. 2012-04-21] DOSTUPNÝ NA WWW [HTTP://WWW.KLZ.CZ/KATALOGY/MAHR/MAHR_03_MICROMAR.PDF](http://www.klz.cz/KATALOGY/MAHR/MAHR_03_MICROMAR.PDF).
- [12] ČÍSELNÍKOVÉ ÚCHYLKOMĚRY [CIT. 2012-04-21] DOSTUPNÝ NA WWW [HTTP://WWW.KLZ.CZ/KATALOGY/MAHR/MAHR_05_MARCATOR.PDF](http://www.klz.cz/KATALOGY/MAHR/MAHR_05_MARCATOR.PDF)
- [13] MARGAGE [CIT. 2012-04-21] DOSTUPNÝ NA WWW [HTTP://WWW.KLZ.CZ/KATALOGY/MAHR/MAHR_13_MARPGAGE.PDF](http://www.klz.cz/KATALOGY/MAHR/MAHR_13_MARPGAGE.PDF).
- [14] PERNIKÁŘ, J. TECHNICKÁ MĚŘENÍ, VUT BRNO, 2002.
- [15] PERNIKÁŘ, J. METROLOGIE, VUT BRNO, 2003.
- [16] LUDVÍK, V.; KRAUS, J. TERMINOLOGIE Z OBLASTI METROLOGIE. UNMZ 2005.
- [17] JELÍNEK, F.; A KOL. METROLOGIE V KOSTCE III. ÚNMZ A ČMI. 2009.
- [18] PETŘKOVSKÁ, L.; ČEPOVÁ, L. STROJÍRENSKÁ METROLOGIE, OSTRAVA, VŠB – TUO, 2011.
- [19] ČEPOVÁ, L.; PETŘKOVSKÁ, L. LEGISLATIVA VE STROJÍRENSKÉ METROLOGII A PŘESNÉ MĚŘENÍ 3D PLOCH. OSTRAVA, VŠB – TUO, 2011.
- [20] TNI 01 0115 MEZINÁRODNÍ METROLOGICKÝ SLOVNÍK – ZÁKLADNÍ A VŠEOBECNÉ POJMY A PŘIDRUŽENÉ TERMÍNY (VIM).
- [21] ZÁKON 505/1990 SB. – O METROLOGII. 1990.
- [22] ZÁKON 119/2000 SB. – O METROLOGII. 2000.
- [23] ČMI. BRNO. ZÁKLADNÍ PRVKY NÁRODNÍHO METROLOGICKÉHO SYSTÉMU ČR A MEZINÁRODNÍ METROLOGICKÁ SPOLUPRÁCE. 2007. 43 STRAN.
- [24] PALENČÁR, R., HALAJ, M.: METROLOGICKÉ ZABEZPEČENIE SYSTÉMOV RIADENIA KVALITY, STU BRATISLAVA. 1998.
- [25] TICHÁ, ŠÁRKA. STROJÍRENSKÁ METROLOGIE : ČÁST 1. OSTRAVA. VŠB – TU OSTRAVA, 2004. ISBN 80-248-0672-X.
- [26] ZÁKLADNÍ JEDNOTKY SI SOUSTAVY [ONLINE] [CIT. 2011-08-11] DOSTUPNÝ NA WWW [HTTP://WWW.CONVERTER.CZ/JEDNOTKY.HTM](http://www.converter.cz/JEDNOTKY.HTM).
- [27] OSANNA, P. PŘESNOST MĚŘENÍ A NEJISTOTY MĚŘENÍ.
- [28] DOVICA MIROSLAV A KOLEKTÍV.: METROLÓGIA V STROJÁRSTVE, 2006. KOŠICE : EDÍCIA VEDECKEJ A ODBORNEJ LITERATÚRY - STROJNÍCKA FAKULTA TU V KOŠICIACH, 351 S. ISBN 80-8073-407-0.
- [29] POSUVNÁ MĚŘÍTKA [ONLINE] [CIT. 2012-04-21] DOSTUPNÝ NA WWW [HTTP://WWW.KLZ.CZ/KATALOGY/MAHR/MAHR_01_MARCAL.PDF](http://www.klz.cz/KATALOGY/MAHR/MAHR_01_MARCAL.PDF).
- [30] MIKROMETRY [ONLINE] [CIT. 2012-04-21] DOSTUPNÝ NA WWW [HTTP://WWW.KLZ.CZ/KATALOGY/MAHR/MAHR_03_MICROMAR.PDF](http://www.klz.cz/KATALOGY/MAHR/MAHR_03_MICROMAR.PDF).
- [31] ČÍSELNÍKOVÉ ÚCHYLKOMĚRY [CIT. 2012-04-21] DOSTUPNÝ NA WWW [HTTP://WWW.KLZ.CZ/KATALOGY/MAHR/MAHR_05_MARCATOR.PDF](http://www.klz.cz/KATALOGY/MAHR/MAHR_05_MARCATOR.PDF)
- [32] MARGAGE [CIT. 2012-04-21] DOSTUPNÝ NA WWW [HTTP://WWW.KLZ.CZ/KATALOGY/MAHR/MAHR_13_MARPGAGE.PDF](http://www.klz.cz/KATALOGY/MAHR/MAHR_13_MARPGAGE.PDF).
- [33] PERNIKÁŘ, J. TECHNICKÁ MĚŘENÍ, VUT BRNO, 2002.
- [34] PERNIKÁŘ, J. METROLOGIE, VUT BRNO, 2003.
- [35] LUDVÍK, V.; KRAUS, J. TERMINOLOGIE Z OBLASTI METROLOGIE. UNMZ 2005.
- [36] JELÍNEK, F.; A KOL. METROLOGIE V KOSTCE III. ÚNMZ A ČMI. 2009.

- [37] KUREKOVA, E., GABKO, P., HALAJ, M.: TECHNICKÉ MERANIE - ZVÁZOK II, ING. PETER JURIGA - GRAFICKÉ ŠTÚDIO, BRATISLAVA 1. VYDANIE, 2005 , ISBN 80-89112-04-8, MODUL M28 STR.649-657.
- [38] KUREKOVA, E., GABKO, P., HALAJ, M.: TECHNICKÉ MERANIE - ZVÁZOK II, ING. PETER JURIGA - GRAFICKÉ ŠTÚDIO, BRATISLAVA 1. VYDANIE, 2005 , ISBN 80-89112-04-8, MODUL M28 STR.649-657.
- [39] KOMPLETNÍ ŘEŠENÍ PŘÍMO OD RENISHAW, DOSTUPNÝ NA INTERNETE: [HTTP://WWW.RENISHAW.COM/EN/RENISHAW-RETROFIT--10487](http://www.renishaw.com/en/renishaw-retrofit--10487).
- [40] DRBÚL, MÁRIO. NÁVRH METODIKY AUTOMATIZOVANÉHO SPRACOVANIA A VYHODNOTENIA 3D MERANÍ VAUTOMATIZOVANEJ VÝROBE : DOKTORSKÁ DISERTAČNÍ PRÁCE, 2009. ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINĚ. 81 s.
- [41] CHUDÍ V., PALENČÁR R., KUREKOVÁ E., HALAJ M.: MERANIE TECHNICKÝCH VELIČÍN.VYDAVATEĽSTVO STU, 1. VYDANIE, 1999, ISBN 80-227-1275-2, STR. 607 – 611.
- [42] [HTTP://WWW.KAM.SJF.STUBA.SK/KATEDRA/PUBLIKACIE/EDUTRAC/MTV/UCEBNICA/DLZKA/DLZKA9.PDF](http://www.kam.sjf.stuba.sk/katedra/publikacie/edutrak/mtv/ucebnica/dlзка/dlзка9.pdf) .
- [43] CHUDÍ V., PALENČÁR R., KUREKOVÁ E., HALAJ M.: MERANIE TECHNICKÝCH VELIČÍN.VYDAVATEĽSTVO STU, 1. VYDANIE, 1999, ISBN 80-227-1275-2, STR. 607 – 611.
- [44] MITUTOYO, SOUŘADNICOVE MĚŘICI STROJE, DOSTUPNÝ NA INTERNETE: URL[HTTP://WWW.MITUTOYO.CZ](http://www.mitutoyo.cz).
- [45] PRIMA BILAVČIK, SOUŘADNICOVE STROJE, DOSTUPNÝ NA INTERNETE: [HTTP://WWW.MERICIPRISTROJE.CZ/SOURADNICOVE.PHP?TXT=324&LG=CZ](http://www.mericipristroje.cz/souradnicove.php?txt=324&lg=CZ).
- [46] KUREKOVÁ, E., GABKO, P., HALAJ, M.: TECHNICKÉ MERANIE - ZVÁZOK II, ING. PETER JURIGA - GRAFICKÉ ŠTÚDIO, BRATISLAVA 1. VYDANIE, 2005 , ISBN 80-89112-04-8, MODUL M12 STR.367-371.
- [47] PERNIKÁŘ J., TYKAL M., VAČKÁŘ J.: JAKOST A METROLOGIE, ČÁST METROLOGIE, CERM BRNO, 2004.
- [48] [HTTP://WWW.MMSPEKTRUM.COM/CLANEK/POUZITI-LINEARNICH-INDUKTIVNICH-MERITEK-NA-STROJICH.HTML](http://www.mmspektrum.com/clanek/pouziti-linearnich-induktivnich-meritek-na-strojich.html).
- [49] Kolektiv autorů. TECHNICKÉ MERANIE ZVÁZOK II, MODUL 12 – MERANIE DĚLKY, POLOHY, ROZMERU (NUMAN M. DURAKBASA, ALI AFJEHI-SADAT, P. HERBERT OSANNA). UČEBNÍ TEXTY PROJEKTU METROMEDIA-ONLINE : VÍDEŇ, 2005. ISBN 80-89112-04-8.
- [50] [HTTP://WWW.KVS.SJF.STUBA.SK/ZPAP.PDF](http://www.kvs.sjf.stuba.sk/ZPAP.PDF).
- [51] [HTTP://WWW.SJF.TUKE.SK/KVTAR/2/FILES/INKREMENTALY.PDF](http://www.sjf.tuke.sk/kvtar/2/files/inkrementaly.pdf).
- [52] [[HTTP://WWW.ZEISS.DE/C12571AF002C60A4/CONTENTSFRAME/22B15A1AF503907BC12578BF00729EFA](http://www.zeiss.de/C12571AF002C60A4/CONTENTSFRAME/22B15A1AF503907BC12578BF00729EFA)]
- [53] [HTTP://WWW.ZEISS.DE/C12571AF002C60A4/CONTENTSFRAME/22B15A1AF503907BC12578BF00729EFA](http://www.zeiss.de/C12571AF002C60A4/CONTENTSFRAME/22B15A1AF503907BC12578BF00729EFA).
- [54] [HTTP://WWW.ZEISS.DE/C12568E80026F83C/EMBEDTITELINTERN/SPECTRUMINFORMATION/NSANGLAIS/\\$FILE/SPECTRUM_BROCHURE_E.PDF](http://www.zeiss.de/C12568E80026F83C/EMBEDTITELINTERN/SPECTRUMINFORMATION/NSANGLAIS/$FILE/SPECTRUM_BROCHURE_E.PDF).
- [55] [HTTP://WWW.KAM.SJF.STUBA.SK/KATEDRA/PUBLIKACIE/EDUTRAC/MTV/UCEBNICA/DLZKA/DLZKA9.PDF](http://www.kam.sjf.stuba.sk/katedra/publikacie/edutrak/mtv/ucebnica/dlзка/dlзка9.pdf).
- [56] MULTISENSOR METROLOGY WITH X-RAY COMPUTED TOMOGRAPHY, 2006. [ONLINE].
- [57] [HTTP://WWW.CMMQUARTERLY.COM/SITE/INDEX.PHP?OPTION=COM_CONTENT&TASK=VIEW&ID=78&ITEMID=71](http://www.cmmquarterly.com/site/index.php?option=com_content&task=view&id=78&Itemid=71).
- [58] [HTTP://WEB.TUKE.SK/SMETROLOGIA/NAVODY/ULOHA07.PDF](http://web.tuke.sk/smetrologia/navody/uloha07.pdf).

- [59] SKALNÍK P., ZELENÝ V.: NOVÝ MULTISENZOROVÝ SÚRADNICOVÝ MERACÍ STROJ, DOSTUPNÝ NA INTERNETE: [HTTP://WWW.MERICI-PRISTROJE.CZ](http://www.merici-pristroje.cz).
- [60] [HTTP://WEB.TUKE.SK/SMETROLOGIA/NAVODY/ULOHA07.PDF](http://web.tuke.sk/smetrologia/navody/uloha07.pdf).
- [61] [HTTP://WWW.KVS.TUL.CZ/DOWNLOAD/RAPID_PROTOTYPING/RP1_SKRIPTA.PDF](http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp1_skripta.pdf).
- [62] [HTTP://TECHNOLOGIE.FS.CVUT.CZ:8080/METROLOGIE/PODKLADY-PMTR/01-PREDNASKA-PMTR-SOURADNICOVE-MERICI-STROJE.PPT/VIEW](http://technologie.fs.cvut.cz:8080/metrologie/podklady-pmtr/01-prednaska-pmtr-souradnicove-merici-stroje.ppt/view)
- [63] MACHAČEK, P.: SOUŘADNICOVE MĚŘICÍ STROJE, DOSTUPNÝ NA INTERNETE: [HTTP://TECHNOLOGIE.FS.CVUT.CZ:8080/METROLOGIE/PODKLADY-PMTR/01-PREDNASKA-PMTR-SOURADNICOVE-MERICI-STROJE.PPT/VIEW](http://technologie.fs.cvut.cz:8080/metrologie/podklady-pmtr/01-prednaska-pmtr-souradnicove-merici-stroje.ppt/view).
- [64] CHRISTOPH, R., NEUMANN, H.J., MULTISENZOROVÁ SOUŘADNICOVÁ MĚŘICÍ TECHNIKA; PUBLIKOVÁNO FIRMOU PRIMA BILAVČÍK, S.R.O.; L.V.PRINT, UHERSKÉ HRADIŠTĚ, 2008, 106 s.
- [65] [HTTP://SIENKOPRECISION.COM/SPECIFICATIONS.PDF](http://sienkoprecision.com/specifications.pdf).
- [66] ČSN 01 0115 MEZINÁRODNÍ SLOVNÍK ZÁKLADNÍCH A VŠEOBECNÝCH TERMÍNŮ V METROLOGII (OPIS NORMY KE STUDIJNÍM ÚČELŮM).
- [67] PAVELKA, K., HODAČ, J. FOTOGRAMMETRIE 3. 1 VYD. PRAHA: ČESKÁ TECHNIKA – NAKLADATELSTVÍ ČVUT, 2008. 187 s. ISBN 978-80-01-03978-6.
- [68] PAVELKA, K., HODAČ, J. FOTOGRAMMETRIE 3. 1 VYD. PRAHA: ČESKÁ TECHNIKA – NAKLADATELSTVÍ ČVUT, 2008. 187 s. ISBN 978-80-01-03978-6.
- [69] [HTTP://ROBO.HYPERLINK.CZ/3DSKENERY/MAIN03.HTML](http://robo.hyperlink.cz/3dskenery/main03.html).
- [70] TIŠNOVSKÝ, P. BEZKONTAKTNÍ DIGITALIZACE PŘEDMĚTŮ POMOCÍ 3D SCANNERU MINOLTA VIVID VI-700. [ONLINE].
- [71] [HTTP://WWW.ELEKTROREVUE.CZ/CLANKY/03013/KAP_2.HTM](http://www.elektrorevue.cz/clanky/03013/kap_2.htm).
- [72] [ILONA, K., KAREL, H.: OPTICKÉ METODY MĚŘENÍ 3D OBJEKTŮ. ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY, VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ, 2005/23, 14.04.2005 [ONLINE]. [HTTP://WWW.ELEKTROREVUE.CZ/CLANKY/05023/INDEX.HTML#KAP4](http://www.elektrorevue.cz/clanky/05023/index.html#kap4).
- [73] BERALDIN, J-ANGELO, ET AL. ACTIVE 3D SENSING. IN MODELLI E METODI PER LO STUDIO E LA CONSERVAZIONE DELL'ARCHITETTURA STORICA. PISA : UNIVERSITY: SCOLA NORMALE SUPERIORE, 2000. s. 22-46. DOSTUPNÝ Z WWW: [HTTP://WWW1.CS.COLUMBIA.EDU/~ALLEN/PHOTOPAPERS/BERALDIN.PDF](http://www1.cs.columbia.edu/~allen/photopapers/beraldin.pdf).
- [74] ROBINSON S., CORNES O. A KOL.: C# PROGRAMUJEME PROFESIONÁLNĚ. 1. VYD. PRAHA, COMPUTER PRESS 2003., ISBN 80-251-0085-5.
- [75] [HTTP://WWW.ELEKTROREVUE.CZ/CLANKY/03013/KAP_2.HTM](http://www.elektrorevue.cz/clanky/03013/kap_2.htm)
- [76] NAVRÁTIL, ROBERT. 3D SKENERY [ONLINE]. c2000, [HTTP://ROBO.HYPERLINK.CZ/3DSKENERY/INDEX.HTML](http://robo.hyperlink.cz/3dskenery/index.html).
- [77] MCAE SYSTEMS. TRITOP CONFIGURATION - MCAE SYSTEMS [ONLINE]. c2007.
- [78] TIŠNOVSKÝ, P. BEZKONTAKTNÍ DIGITALIZACE PŘEDMĚTŮ POMOCÍ 3D SCANNERU MINOLTA VIVID VI-700. [ONLINE]. c2002. [HTTP://WWW.ELEKTROREVUE.CZ/CLANKY/03013/KAP_2.HTM](http://www.elektrorevue.cz/clanky/03013/kap_2.htm).
- [79] SKOUPÝ, P. 3D OPTICKÉ MĚŘICÍ A SKENOVACÍ SYSTÉMY PRO STROJÍRENSTVÍ.[CD-ROM], BRNO: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ, 2007. 64 s. VEDOUcí BAKALÁŘSKÉ PRÁCE ING. DAVID PALOUŠEK.
- [80] PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING. RECORDING AND MODELING OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS WITH CODED STRUCTURED LIGHT PROJECTION SYSTEMS. c2006,

[HTTP://WWW.PHOTOGRAMMETRY.ETHZ.CH/GENERAL/PERSONS/DEVIRM/2006IT_AKCA_ETAL_ROME06.PDF](http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/devrim/2006IT_AKCA_ETAL_ROME06.PDF)

- [81] [HTTP://ROBO.HYPERLINK.CZ/3DSKENERY/MAIN05.HTML](http://robo.hyperlink.cz/3DSKENERY/MAIN05.HTML).
- [82] [HTTP://WWW.GOM.COM/METROLOGY-SYSTEMS/LARGE-SCALE-CMM.HTM](http://www.gom.com/metrology-systems/large-scale-cmm.htm)
- [83] [HTTP://WWW.VUTBR.CZ/STUDIUM/ZAVEREČNE-PRACE?ZP_ID=26433](http://www.vutbr.cz/studium/zaverocene-prace?zp_id=26433)
- [84] [HTTP://WWW.VUTBR.CZ/WWW_BASE/ZAV_PRACE_SOUBOR_VEREJNE.PHP?FILE_ID=30614](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30614)
- [85] <[HTTP://ROBO.HYPERLINK.CZ/3DSKENERY/INDEX.HTML](http://robo.hyperlink.cz/3DSKENERY/INDEX.HTML)>.
- [86] MCAE SYSTEMS. TRITOP CONFIGURATION - MCAE SYSTEMS [ONLINE]. C2007, [HTTP://WWW.MCAE.CZ/KATALOG.PHP?LANG=CS&ID=167](http://www.mcae.cz/katalog.php?lang=cs&id=167).
- [87] [HTTP://WWW.VUTBR.CZ/WWW_BASE/ZAV_PRACE_SOUBOR_VEREJNE.PHP?FILE_ID=30614](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30614)
- [88] NEUMANN, H.J.,CHRISTOPH,R. MULTISENZOROVÁ SOUŘADNICOVÁ MĚŘÍCÍ TECHNIKA. 4 PŘEPRACOVANÉ A ROZŠÍŘENÉ VYDÁNÍ. UHERSKÉ HRADIŠTĚ:L.V.PRINT, 2008. 108 s.
- [89] [HTTP://GREENROCK.TYM.CZ/VIVID.HTM](http://greenrock.tym.cz/vivid.htm).
- [90] HANDYSCAN 3D. TECHNICKÉ INFORMACE [ONLINE]. C2002, [HTTP://WWW.HANDYSCAN.CZ](http://www.handyscan.cz).
- [91] SMART TECHNOLOGIES. POPIS PROCESU DIGITALIZACE [ONLINE]. C2009, [HTTP://WWW.SMART-TECH.CZ/CZ/DIGITALIZACE/](http://www.smart-tech.cz/cz/digitalizace/).
- [92] TYKAL: SOUČASNÝ STAV V OBLASTI NÁVAZNOSTI SOUŘADNICOVÝCH MĚŘICÍCH STROJŮ V SYSTÉMECH KVALITY, BRNO, 2007.
- [93] [HTTP://WWW.RENISHAW.CZ/CS/MOTORICKE-A-AUTOMATICKE-SNIMACI-HLAVICE--6655](http://www.renishaw.cz/cs/motoricke-a-automaticke-snimaci-hlavice--6655)
- [94] HIGH-SPEED-SCANNING PROBES, 2011. [ONLINE]. 2011, [CIT. 2011-04-26]. DOSTUPNÉ NA INTERNETE: [HTTP://WWW.LEITZ-METROLOGY.COM/LSP-X3_552.HTM](http://www.leitz-metrology.com/LSP-x3_552.htm).
- [95] DOTEKY A PŘÍSLUŠENSTVÍ, 2007. [ONLINE]. 2007, DOSTUPNÉ NA INTERNETE: [HTTP://RESOURCES.RENISHAW.COM/CS/DETAILS/TECHNICK%C3%A9+PARAMETRY%3A+DOTEKY+A+P%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD%2818153%29](http://resources.renishaw.com/cs/details/technick%C3%A9+parametry%3A+DOTEKY+A+P%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD%2818153%29).
- [96] RENISHAW APPLY INOVATION. [ONLINE]. 2010 [CIT. 2010-03-29]. DOSTUPNÝ Z WWW: [WWW.RENISHAW.CZ](http://www.renishaw.cz).
- [97] PRECISION STYL, 2009. [ONLINE]. 2009, [CIT. 2011-02-09]. DOSTUPNÉ NA INTERNETE: [HTTP://WWW.RENISHAW.CZ/CS/NA-SPICCE-PRUVODCE-PRO-VYBER-DOTEKU-PRO-SOURADNICOVYMERICI-STROJ--10927](http://www.renishaw.cz/cs/na-spice-pruvodce-pro-vyber-doteku-pro-souradnicovymerici-stroj--10927).
- [98] [HTTP://WWW.RENISHAW.CZ/CS/TYPY-DOTEKU--6627](http://www.renishaw.cz/cs/typy-doteku--6627)
- [99] MACHÁČEK P.: SÚRADNICOVÉ MĚŘÍCÍ STROJE, 2010. [ONLINE]. 2010, [CIT. 2011-02-05]. DOSTUPNÉ NA INTERNETE: [HTTP://WWW.GOOGLE.SK/URL?SA=T&SOURCE=WEB&CD=1&VED=0CBsQFJAA&URL=HT TP%3A%2F%2Fu12134.FSID.CVUT.CZ%2FPODKLADY%2FPMTR%2F01_PREDNASKA_P MTR_SOURADNICOVE_MERICI_STROJE.PPS&RCT=J&Q=Nov%C3%A9%20SM%C4%9Br Y%20VE%20STROJ%C3%ADRENSK%C3%A9%20METROLOGII&EI=7HXFTeeMJ8BP OCJ DWKII&USG=AFQjCNGwmKazVO0BG81TCZeY7HSMHrFMG&CAD=RJA](http://www.google.sk/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBsQFJAA&url=http%3A%2F%2Fu12134.fs.cvut.cz%2Fpodklady%2FPMTR%2F01_PREDNASKA_PMTR_SOURADNICOVE_MERICI_STROJE.PPS&rct=j&q=Nov%C3%A9%20sm%C4%9Bry%20ve%20stroj%C3%ADrensk%C3%A9%20metrologii&ei=7HXFTeeMJ8BPOCJDWKII&usg=AFQjCNGwmKazVO0BG81TCZeY7HSMHrFMG&cad=RJA).
- [100] TUREK, S.: NEISTOTA MERANIA, 2008, PREDNÁŠKA PRE 3. ROČNÍK BAKALÁRSKEHO ŠTÚDIA NA SĽ ŽILINSKEJ UNIVERZITY.
- [101] [HTTP://ENCYKLOPEDIE.VSEVED.CZ/INDUKTOSYN](http://encyklopedie.vseved.cz/induktosyn)
- [102] ŠIMONÍK, M. DIGITALIZACE - JEJÍ PRINCIP A ROZDELENÍ. MM PRUMYSLOVÉ SPEKTRUM [ONLINE]. 2004, [HTTP://WWW.MMSPEKTRUM.COM/CLANEK/DIGITALIZACE-JEJI-PRINCIP-A-ROZDELENI](http://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-jeji-princip-a-rozdeleni).
- [103] WIKIPEDIA. 3D SCANNER. [ONLINE]. 2008, [HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/3D_SCANNER](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner).

- [104] DÚBRAVCÍK, M. PROSTRIEDKY DIGITALIZÁCIE. [ONLINE]. 2005, <[HTTP://64.233.183.104/SEARCH?Q=CACHE:976LGTwDBAIJ:WEB.TUKE.SK/SJFICAV/STRANKY/TRANSFER/8-2005/PDF/52-54.PDF+PROSTRIEDKY+DIGITALIZ%C3%A1CIE&HL=CS&CT=CLNK&CD=1&GL=SK](http://64.233.183.104/SEARCH?Q=CACHE:976LGTwDBAIJ:WEB.TUKE.SK/SJFICAV/STRANKY/TRANSFER/8-2005/PDF/52-54.PDF+PROSTRIEDKY+DIGITALIZ%C3%A1CIE&HL=CS&CT=CLNK&CD=1&GL=SK)>.
- [105] CGI. CROSS-SECTIONAL SCANNING. [ONLINE]. 2006 [CIT. 2008-04-22]. <[HTTP://WWW.CGIINSPECTION.COM/CSS_PROCESS.CFM](http://www.cgiinspection.com/CSS_PROCESS.CFM)>.
- [106] GOM-MEASURING SYSTEMS. CONTACT EUROPE. [ONLINE]. <[HTTP://WWW.GOM.COM/EN/COMPANY/CONTACT/EUROPE.HTML](http://www.gom.com/EN/COMPANY/CONTACT/EUROPE.HTML)>.
- [107] KONICA MINOLTA. 3D DIGITIZERS : NON – CONTACT 3D LASER SCANNER. [ONLINE]. 2004 [HTTP://WWW.MINOLTA3D.COM/PRODUCTS/MAIN-EN.ASP](http://www.minolta3d.com/products/main-en.asp).
- [108] KALOVÁ, I., HORÁK, K. OPTICKÉ METODY MERENÍ 3D OBJEKTU. ELEKTROREVUE [ONLINE]. 2005 [CIT. 2008-04-26]. <[HTTP://WWW.ELEKTROREVUE.CZ/CLANKY/](http://www.elektrorevue.cz/clanky/)>
- [109] NÄSLUND, A. ROBUST AUTOMATED DEBURRING. [ONLINE]. 2007 [CIT. 2008-04-24]. <[HTTP://EPUBL.LUTH.SE/1402-1617/2007/051/LTU-EX-07051-SE.PDF](http://epubl.luth.se/1402-1617/2007/051/LTU-EX-07051-SE.PDF)>. ISSN 1402-1617.
- [110] CGI, CAPTURE GEOMETRIC INTERNALLY, DOKUMENT DOSTUPNÝ NA URL: [HTTP://WWW.CGIINSPECTION.COM/PRODUCTS_CSS-3000.CFM](http://www.cgiinspection.com/products_css-3000.cfm)
- [111] CORTECH SOLUTIONS, DOKUMENT DOSTUPNÝ NA URL: [HTTP://CORTECHSOLUTIONS.COM](http://cortechsolutions.com)
- [112] QUALITY DIGEST MAGAZINE. LASER TRACKERS: A NEW BREED OF CMM [ONLINE]. C1998, [CIT. 2009-04-24]. [HTTP://WWW.QUALITYDIGEST.COM/FEB98/HTML/LASERTRK.HTML](http://www.qualitydigest.com/FEB98/HTML/LASERTRK.HTML)
- [113] OPTICAL METROLOGY CENTRE. OMC TECHNICAL BRIEF – LASER TRACKER [ONLINE]. C2001, [HTTP://WWW.OPTICAL-METROLOGY-CENTRE.COM/ DOWNLOADS/ TECH_BRIEFS/ TECHBRIEF_ LASERTRACKER.PDF](http://www.optical-metrology-centre.com/downloads/Tech_Briefs/TechBrief_LASERTracker.PDF).
- [114] [HTTP://WWW.MERICI-PRISTROJE.CZ/PRODUKTY/PODLE-VYROBY/FARO/LASER-TRACKER/](http://www.merici-pristroje.cz/produkty/podle-vyroby/faro/laser-tracker/)
- [115] [HTTP://WWW.KVS.TUL.CZ/DOWNLOAD/RAPID_PROTOTYPING/RP1_SKRIPTA.PDF](http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp1_skripta.pdf)
- [116] DURAKBASA M., AFJEHI-SADAT A., OSANNA P.: NEISTOTY MERANIA, DOSTUPNÉ NA INTERNETE: [HTTP://WWW.KAM.SJF.STUBA.SK/KATEDRA/PUBLIKACIE/LEONARDO/UCEBNICA/27S.PDF](http://www.kam.sjf.stuba.sk/KATEDRA/PUBLIKACIE/LEONARDO/UCEBNICA/27S.PDF)
- [117] NUMAN, M., DURAKBASA, ALI AFJEHI -SADAT., OSANNA, P., HERBERT. : TECHNICKÉ MERANIE – ZVÄZOK II, ING. PETER JURIGA - GRAFICKÉ ŠTÚDIO, BRATISLAVA 1. VYDANIE, 2005 , ISBN 80-89112-04-8
- [118] OČENÁŠOVÁ, L. PRÍSPEVOK K HODNOTENIU ODCHÝLKY KRUHOVITOSTI PRI MERANÍ NA SÚRADNICOVOM MERACOM STROJI : DOKTORSKÁ DISERTAČNÁ PRÁCE. ŽILINA: ŽILINSKÁ UNIVERZITA FAKULTA STROJNÍ, 2008. 104 s., 35 PŘÍL.
- [119] [HTTP://WEB.TUKE.SK/SMETROLOGIA/NAVODY/ULOHA07.PDF](http://web.tuke.sk/smetrologia/navody/uloha07.pdf)
- [120] [HTTP://WWW.KAM.SJF.STUBA.SK/KATEDRA/PUBLIKACIE/EDUTRAC/MTV/UCEBNICA/DLZKA/DLZKA9.PDF](http://www.kam.sjf.stuba.sk/KATEDRA/PUBLIKACIE/EDUTRAC/MTV/UCEBNICA/DLZKA/DLZKA9.PDF)
- [121] SMART TECHNOLOGIES. POPIS PROCESU DIGITALIZACE [ONLINE]. C2009, [HTTP://WWW.SMART-TECH.CZ/CZ/DIGITALIZACE/](http://www.smart-tech.cz/cz/digitalizace/)
- [122] [HTTP://WWW.KOD.TUL.CZ/PREDMETY/KONSTRUKCE/KPC/DOKUMENTY/03_PREDNASKA_2_CAST.PDF](http://www.kod.tul.cz/predmety/konstrukce/kpc/dokumenty/03_prednaska_2_cast.pdf)
- [123] 3D GRAFIKA, MECHANICKÉ SKENERY ŘADY MICROSCRIBE, DOKUMENT DOSTUPNÝ NA [HTTP://3DGRAFIKA.CZ/](http://3dgrafika.cz/)

- [124] MM PRŮMYSL OVÉ SPEKTRUM. DIGITALIZACE-JEJÍ PRINCIP A ROZDĚLENÍ [ONLINE]. ROČ. 2004, Č.6, RUBRIKA TRENDY/MĚŘENÍ, S.28. <[HTTP://WWW.MMSPEKTRUM.COM/CLANEK/DIGITALIZACE-JEJI-PRINCIP-A-ROZDELENI.](http://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-jeji-princip-a-rozdeleni)>
- [125] METRIS. INDUSTRIAL X-RAY AND COMPUTED TOMOGRAPHY [ONLINE]. [HTTP://WWW.METRIS.COM/PRODUCTS/X-RAY_AND_CT_INSPECTION/](http://www.metrisc.com/products/x-ray_and_ct_inspection/)
- [126] METRIS. CMM SCANNERS [ONLINE]. [HTTP://WWW.METRIS.COM/CMM_SCANNERS/](http://www.metrisc.com/cmm_scanners/)
- [127] HOFFMANN, V. A BRIEF HISTORY OF 3D SCANNING. [ONLINE]. 1998. [HTTP://VR.ISDALE.COM/3DSCANNERS/3D_SCAN_HISTORY/HISTORY.HTM](http://vr.isdale.com/3DScanners/3D_SCAN_HISTORY/HISTORY.HTM).
- [128] KREMPA M., METROLÓGIA V STROJÁRSTVE, ZBORNÍK PŘEDNÁŠOK: OBRÁBANIE – VÝBORNÁ TECHNIKA 2000, SÚL'OV 2000
- [129] OBMAŠČÍK M., SLIMÁK S., MADUNA M.: RIADENIE AKOSTI A METROLÓGII, ALFA BRATISLAVA, 1987
- [130] OBMAŠČÍK M., METROLÓGIA CHÝB A NEISTÔT MERADIEL DÍŽOK, MASM ŽILINA, 1998
- [131] DURAKBASA M., AFJEHI-SADAT A., OSANNA P., NEISTOTY MERANIA, DOSTUPNÝ NA INTERNETU
- [132] [HTTP://WWW.KAM.SJF.STUBA.SK/KATEDRA/PUBLIKACIE/LEONARDO/UCEBNICA/27S.PDF](http://www.kam.sjf.stuba.sk/KATEDRA/PUBLIKACIE/LEONARDO/UCEBNICA/27S.PDF)
- [133] RŮŽIČKA V., KONTROLA OZUBENÝCH KOL S ÚVODEM DO GEOMETRICKÉHO VÝPOČTU OZUBENÍ, SNTL PRAHA, 1957
- [134] MEDVECKÝ Š., ČILLÍK L., BARYSZ I., ŽARNAY M., HRČEKOVÁ A., BRONČEK J., KUČERA L., ZÁKLADY KONŠTRUOVANIA, EDIS ŽILINA, 1999
- [135] DOVICA M. A KOL., METROLÓDIA V STROJÁRSTVE
- [136] VYSLOŽIL Z., KOVÁĽ J., TECHNOLOGICKÉ A STROJNICKÉ MERANIA, ALFA BRATISLAVA, 1978
- [137] OČENAŠOVÁ L., PRÍSPEVOK K HODNOTENIU ODCHÝLKY KRUHOVITOSTI PRI MERANÍ NA SÚRADNICOVOM METACÍM STOJI; DIZERTAČNÁ PRÁCA, ŽILINA, 2008, SK
- [138] PERNIKÁŘ J., TYKAL M., VAČKÁŘ J.: JAKOST A METROLOGIE, ČÁST METROLOGIE, CERM BRNO, 2004
- [139] MAAG-TASCHENBUCH, 2TE ERWEITERTE UND ERGÄNZTEAUFGABE, BERECHNUNH UND HERSTELLUNG VON VERZÄHNUNGEN IN THEORIE UND PRAXIS, MAAG-ZAHNRÄDER AKTIENGESELLSCHAFT, ZÜRICH, 1985, SCHWEIZ
- [140] [HTTP://WWW.UMZ.FME.VUTBR.CZ/METODIKY_%20MERENI%5COZUBENA_KOLA.HTM](http://www.umz.fme.vutbr.cz/METODIKY_%20MERENI%5COZUBENA_KOLA.HTM)



Klíč k řešení

Odpovědi na otázky, výsledky řešení úloh, nápovědy, návody k řešení složitých projektů ap.

Asi na konci celého textu, dobrovolně na konci kapitol.

- O 1.1 Základním cílem metrologie je zabezpečování jednotnosti a přesnosti měření.
- O 1.2
- Definovat mezinárodně uznávané jednotky měření, jako například metr.
 - Realizovat jednotky měření pomocí vědeckých metod, například realizace metru s využitím laserových paprsků.
 - Vytvářet řetězce návaznosti cestou stanovení a dokumentování hodnoty a přesnosti měření a přenosu těchto údajů.
- O 2.1 Ministerstvo průmyslu a obchodu
- O 2.2 Ne
- O 2.3 Účelem zákona o metrologii je úprava práv a povinností fyzických osob, které jsou podnikateli, a právnických osob a orgánů státní správy.
- O 3.1 Národní metrologické instituty
- O 3.2 Národní metrologický systém zajišťuje konzistentní a mezinárodně uznávanou základnu měření pro všechny obory státní správy, hospodářství, vědy, ochrany správnosti obchodního styku, ochrany zdraví a životního prostředí.
- O 3.3 Zajišťuje náležité fungování měřidel používaných v průmyslu a ve výrobních a zkušebních procesech, pro zajištění kvality života obyvatel a pro akademický výzkum.
- O 3.4 Vědecká metrologie, průmyslová metrologie, legální metrologie.
- O 4.1 Primární etalon
- O 4.2 Řetězec návaznosti je nepřerušovaný řetězec porovnání, pro který jsou uvedeny nejistoty.
- O 4.3
- aby byla zajištěna a prokázána návaznost,
 - aby údaje uváděné přístrojem byly konzistentní s jiným měření,
 - aby byla zajištěna správnost údajů uváděných přístrojem,
 - aby byla zajištěna spolehlivost přístroje a bylo mu možno důvěřovat.
- O 5.1
- nepřesností měřidel (způsobené např. nedodržením tolerancí u jednotlivých součástí přístroje, chybami vzniklými při montáži přístroje, nevhodnou konstrukcí přístroje,...),
 - etalonem použitým na kalibraci měřidla nebo nesprávným seřízením měřidla,
 - měřicí silou, tlakem (může vyvolat deformaci měřeného objektu),
 - měřicí metodou,
 - vlivy prostředí,
 - operátorem (chyby zaviněné nedokonalostí lidských smyslů, chyby z nedbalosti,

neopatrnosti, neznalosti).

- O 5.2
- měřicí metoda – nesprávně zvolená metoda, která náhodně ovlivňuje měření,
 - měřidlo – poškozená jedna nebo více součástí měřicího řetězce (např. poškozené měřicí dotyky mikrometru),
 - podmínky měření – měřidlo se používá při náhodně se měnících podmínkách (např. optický snímač vzdálenosti je citlivý na vibrace,...),
 - obsluha – klasický a častý zdroj náhodných chyb (časté bývá různé používání měřidla při opakovaném měření).

- O 5.3
- nedokonalá či neúplná definice měřené veličiny nebo její realizace,
 - nevhodný výběr přístroje (rozlišovací schopnost aj.)
 - nevhodný (nereprezentativní) výběr vzorků měření,
 - nevhodný postup při měření
 - zjednodušení (zaokrouhlení) konstant a převzatých hodnot,
 - linearizace, aproximace, interpolace anebo extrapolace při vyhodnocení,
 - neznámé nebo nekompenzované vlivy prostředí,
 - nedodržení shodných podmínek při opakovaných měřeních,
 - subjektivní vlivy obsluhy,
 - nepřesnost etalonů a referenčních materiálů.

O 5.4

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

- O 6.1 Zařízení používané k měření buď samostatné nebo ve spojení s jedním nebo více přídatnými zařízeními.
- O 6.2 Etalony, stanovená měřidla, pracovní měřidla, certifikované referenční materiály.
- O 7.1 Posuvné měřidlo, mikrometr, kalibr, číselníkový úchylkoměr, koncové měrky.
- O 7.2 Výrobní, kontrolní, přebírací, porovnávací.
- O 7.3 Ve čtyřech.

- O 8.1 Rad, stupeň, grad
- O 8.2 Pro kontrolu úhlů, např. závitů, rybin, úkosů, geometrie nástrojů apod.
- O 8.3 Jednoduché, mechanické, optické, elektronické
- O 8.4 Slouží jako přípravek ke kontrole úhlů na součástkách
- O 8.5 Využívají vlastností bublin v uzavřených nádobách naplněných kapalinou (éter, etyléter) – bublina vždy se snaží zaujmout nejvyšší polohu.
- O 8.6 Úhelník slouží ke kontrole kolmosti. Při kontrole součásti je položen úhelník i součást na průměrnou desku a porovnáváním světelné štěrbiny mezi součástí a úhelníkem je vyhodnocena odchylka kolmosti.
- O 9.1 Střední aritmetická odchylka profilu
- O 9.2 Průměrná kvadratická odchylka profilu
- O 9.3 Maximální výška nerovností
- O 9.4 Největší hloubka prohlubně profilu
- O 9.5 Nejvyšší výška výstupku profilu
- O 9.6 Délka ve směru osy x používaná pro rozpoznání nerovnosti charakterizujících daný profil. Základní délka pro drsnost I_r je číselně rovna hodnotě filtru λ_c .
- O 9.7 Délka ve směru osy x používaná pro posouzení vyhodnocovaného profilu, vyhodnocovaná délka může obsahovat jednu a více základních délek.
- O 9.8 Průměrná vzdálenost prvků profilu.
- O 9.9 R pro drsnost povrchu, W pro vlnitost povrchu, P pro základní profil.
- O 9.10 Profilometry (drsnoměry), porovnáním s etalony drsnosti, metoda světelného řezu, s využitím interference světla,
- O 10.1 Průměrem, stoupáním, profilem
- O 10.2 K rychlé a informativní kontrole stoupání a profilu závitu
- O 10.3 Ke kontrole závitu a jeho rozměru přes drátky, který lze přepočítat na střední průměr závitu
- O 10.4 Ke kontrole středního průměru závitu
- O 10.5 60°
- O 11.1 Roztečná kružnice, počet zubů, modul
- O 11.2 evolventa
- O 11.3 Odvalováním evolventy po kružnici vznikne přímka (při bezchybném kole). Odchylky od této přímky ukazují odchylky měřené evolventy.
- O 11.4 Slouží ke kontrole zubu v předem stanovené hloubce od hlavy zubu. Naměřenou tloušťku zubu porovnáme s teoretickou hodnotou.

- O 11.5 Slouží k přímému stanovení boční vůle. Z tabulek si stanovíme počet zubů, přes které se měří, a měříme pomocí mikrometru s talířovými doteky rozměr přes zuby, který potom porovnáme s tabulkovou hodnotou.
- O 11.6 Pomocí číselníkového úchylkoměru (kolo musí být upnuto na přesném trnu) nebo pomocí přístroje na dvojboký odval.
- O 12.1 Sloupové, výložníkové, portálové a mostové
- O 12.2 Rám, stůl, stojan, portál, most, pinola
- O 12.3 Kluzné, valivé, serostatické
- O 12.4 Závitový hřídel s úhlovým převodníkem, lineární inductosyn, inkrementální délková stupnice, laserinterferometr.
- O 12.5 Měřicí přístroj, okolí, měřená součástka, obsluha, strategie měření
- O 12.6 Roztažnost materiálu atmosférické podmínky měření
- O 12.7 Chyba tvaru doteku a průhyb.
- O 12.8 Geometrický útvar na součásti.
- O 12.9 Bezdotykové a kontaktní.
- O 12.10 V kartézských souřadnicích.
- O 13.1 Zabývá se hodnocením systému měření a používá se k odhadování chyb měření
- O 13.2 Parametr charakterizující rozsah hodnot měřené veličiny kolem výsledku měření, který podle očekávání obsahuje skutečnou hodnotu veličiny
- O 13.3 Nejistota je vázaná na výstup a výsledek, analýza se orientuje na systém měření
- O 13.4 Analýza principu měření, návaznost na hodnoty etalonů a kalibraci
- O 13.5 Identifikaci všech důležitých měřicích zařízení, postupy, programové vybavení, podmínky použití, schopnost obsluhy
- O 13.6 Těsnost shody mezi průměrnou hodnotou a pravou hodnotou měřené veličiny
- O 13.7 Variabilita průměrných hodnot výsledků opakovaných měření stejného vzorku
- O 13.8 Je základní kvantitativní charakteristika nejistoty
- O 13.9 Je vyjádření absolutní standardní nejistoty