



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

VŠB TECHNICKÁ
UNIVERZITA
OSTRAVA | FAKULTA
STROJNÍ | KATEDRA OBRÁBĚNÍ, MONTÁŽE
A STROJÍRENSKÉ METROLOGIE

Strojírenská metrologie 2

Ing. Lenka Čepová, Ph.D.

Ing. Ondřej Mizera, Ph.D.

Ing. Tomáš Zlámal, Ph.D.

Ostrava 2022

Obsah

1	Význam metrologie, základní pojmy	5
1.1	Základní pojmy	5
2	Jednotky SI soustavy, zákon o metrologii ve všeobecnosti. Instrukce činné v metrologii.....	9
2.1	Jednotky SI soustavy.....	9
2.1.1	Jednotka délky - metr	10
2.1.2	Jednotka času – sekunda	10
2.1.3	Jednotka hmotnosti – kilogram	10
2.1.4	Jednotka elektrického proudu – ampér	11
2.1.5	Jednotka termodynamické teploty - kelvin	11
2.1.6	Jednotka látkového množství – mol	12
2.1.7	Jednotka svítivosti – kandela.....	12
2.2	Další jednotky	12
3	Zákon o metrologii.....	15
3.1	Měřidla	16
3.2	Návaznosti měřidel.....	17
3.2.1	Certifikované referenční materiály	18
3.2.2	Ověřování a kalibrace měřidel.....	18
3.3	Schvalování typu měřidel	19
3.3.1	Hotově balené zboží značené symbolem „e“	19
3.3.2	Uvedení měřidel do oběhu, jejich požití a pokuty subjektům.....	20
4	Instrukce činné v metrologii.....	22
5	Chyby měření.....	28
5.1	Náhodné chyby.....	30
5.2	Systematická chyba	33
5.3	Hrubé chyby	34
6	Nejistoty měření.....	36
6.1	Standardní nejistota typu A	36
6.2	Standardní nejistota typu B.....	38
6.3	Kombinovaná nejistota:	40
6.4	Vyjádření výsledku měření	42

7	Principy měřidel – mechanický, optický, elektrický, pneumatický.....	43
7.1	Měřidla s převodem mechanickým	44
7.2	Měřidla s převodem pružinovým	45
7.3	Měřidla s převody ozubenými koly a segmenty.....	46
7.4	Měřidla s převodem opticko- mechanickým.....	47
7.5	Měřidla s převody elektrickými	48
7.6	Elektrokontaktní snímače.....	48
7.7	Kapacitní přístroje	49
7.8	Indukční přístroje	49
7.9	Fotoelektrické přístroje	50
7.10	Měřidla s převody pneumatickými.....	50
7.11	Tlakové pneumatické přístroje.....	51
7.11.1	Průtočné pneumatické přístroje.....	51
7.11.2	Rychlostní pneumatické přístroje.....	52
8	Metrologie délky a měření rovinného úhlu.....	53
8.1	Posuvné měřidlo.....	53
8.2	Hloubkoměr a výškoměr	54
8.3	Mikrometry.....	54
8.4	Číselníkové úchylkoměru.....	56
8.5	Kalibry.....	57
8.6	Koncové měřky – Johanssonky	58
8.7	Úhelníky.....	60
8.8	Úhломěry	61
8.9	Úhlové měřky	62
8.10	Vodováhy.....	62
8.11	Sinusové pravítko	63
8.12	Profilprojektory	64
9	Kuželové plochy a jejich kontrola	65
9.1	Kuželová plocha.....	65
9.2	Kontrola kuželové plochy vnější	68
10	Ozubená kola.....	72

10.1	Základní geometrické parametry čelního ozubení s přímými zuby.....	74
10.2	Geometrické odchylky ozubení	75
10.2.1	Odchylka čelní rozteče.....	76
10.2.2	Odchylky profilu	77
10.3	Házení.....	77
10.4	Normy týkající se měření ozubených kol.....	79
10.5	Měřicí metody	79
10.6	Konvenční zařízení na měření ozubených kol	80
10.6.1	Měření a kontrola polotovaru na ozubení	81
10.6.2	Měření obvodového házení ozubení.....	81
10.7	Kontrola ozubených kol.....	83
10.8	Měření profilu zubu.....	84
10.9	Měření tloušťky zubů	85
10.9.1	Výpočet jmenovité konstantní tloušťky a výšky zubů	86
10.10	Měření rozměru přes zuby „M“.....	87
10.11	Komplexní kontrola ozubených kol jednobokým a dvojbokým odvalem.....	88
10.12	Kontrola ozubených kol dvoubokým odvalem	90
11	Základy kontroly odchylek tvaru a polohy.....	92
11.1	Geometrické odchylky směru.....	92
11.2	Geometrické odchylky tvaru	95
11.3	Geometrické odchylky polohy.....	96
11.4	Házení.....	97
12	Použitá literatura:.....	100

1 Význam metrologie, základní pojmy

Slovo metrologie pochází z řečtiny a je chápáno, jako věda o měření a vše kolem ní. Označujeme ji za vědeckou a technickou disciplínu zabývající se měřením, hospodářství, státní správou, obranou a ochranou zdraví a životního prostředí.

Metrologii rozdělujeme do tří kategorií:

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

Dříve se využívala také Fundamentální metrologie. Což znamenalo vrchol vědecké metrologie s největší přesností měření.

Obecně lze metrologii rozdělit do více zobecněných částí, dle problematiky:

- problematika jednotek a veličin,
- problematika metod a postupů měření se zpracováním výsledků měření,
- problematika měřicích strojů a zařízení,
- problematika vlivů lidského činitele,
- problematiku předpisovou a právní,
- problematiku základních fyzikálních konstant,
- problematiku technických a materiálových konstant.

1.1 Základní pojmy

Mezinárodní metrologický slovník je určen normou TNI 01 0115 z roku 2009. Norma je shodná se sborníkem technické harmonizace – terminologie z oblasti metrologie.

Veličina – vlastnost jevu, tělesa nebo látky, kterou lze kvalitativně rozlišit a kvantitativně určit (délka, hmotnost, teplota, elektrický odpor určitého drátu atd.).

Základní veličina – jedna z veličin, které jsou v určitém systému veličin konvenčně přijaty jako vzájemně nezávislé.

Odvozená veličina – veličina definována v systému veličin jako funkce základních veličin.

Rozměr veličiny – výraz, který vyjadřuje veličinu ze soustavy veličin jako součin mocnin základních veličin tohoto systému.

Jednotka (měřicí) – blíže určená veličina definovaná a přijatá konvencí, se kterou jsou porovnávány jiné veličiny stejného druhu za účelem vyjádření jejich hodnot ve vztahu k této veličině.

Značka (měřicí) jednotky – konvenční označení měřicí jednotky (m – značka metru, A – značka ampéru).

Základní (měřicí) jednotka – jednotka daného systému jednotek přijatá konvencí jako rozměrově nezávislá na ostatních jednotkách systému.

Odvozená (měřicí) jednotka – jednotka daného systému jednotek odvozená pomocí základních jednotek.

Hodnota veličiny – velikost blíže určené veličiny obecně vyjádřená jako měřicí jednotka násobená číselnou hodnotou (např.: 5,3 m, 12 kg, -40°C).

Pravá (skutečná) hodnota – hodnota, která je ve shodě s definicí dané blíže určené veličiny (jedná se o hodnotu, která by byla získána naprosto přesným - perfektním měřením, je neurčitého charakteru, v podstatě ji nelze určit).

Konvenčně pravá hodnota veličiny – hodnota veličiny, která je přisuzovaná blíže určené veličině a přijata (někdy konvencí) jako hodnota, jejíž nejistota je vyhovující pro daný účel.

Měření – souhrn činností s cílem stanovit hodnotu veličiny.

Metrologie – věda zabývající se měřením.

Měřicí metoda – logický sled po sobě následujících genericky posloupně popsaných činností, které jsou používány při měření.

Měřicí princip – princip měření jež slouží jako základ měření.

Měřicí postup – soubor specifický popsaných činností, které jsou používány při blíže určených měřeních podle dané metody.

Měřená veličina – veličina jejíž hodnota je předmětem měření.

Ovlivňující veličina – veličina, která není předmětem měření, která však působí na výsledek měření.

Výsledek měření – hodnota získaná měřením přisouzená měřené veličině.

Pravá hodnota veličiny – skutečná hodnota veličiny, která je ve shodě s definicí veličiny.

Preciznost měření – těsnost shody mezi indikacemi nebo naměřenými hodnotami veličiny získanými opakovanými měřeními na stejném objektu nebo na podobných objektech za specifikovaných podmínek.

Přesnost (exaktnost) měření – těsnost shody mezi výsledkem měření a pravou (konvenčně pravou) hodnotou měřené veličiny.

Opakovatelnost měření – těsnost shody mezi výsledky po sobě následujících měření téže měřené veličiny (na stejném objektu), provedených při stejných podmínkách, tj: stejné měřicí metodě, týmž pozorovatelem, týmž měřidlem, na stejném místě, ve stejných pracovních podmínkách, opakovaně po krátké časové periodě.

Reprodukovatelnost měření – těsnost shody mezi výsledky měření téže měřené veličiny provedených za změněných podmínek měření (princip měření, měřicí metoda, pozorovatel, měřicí přístroj, místo, podmínky použití, čas).

Výběrová směrodatná odchylka – poukazuje, jakou chybou je zatížena jednotlivá naměřená hodnota. Jinými slovy, vypovídá o přesnosti našeho měření.

Nejistota měření – parametr přidružený k výsledku měření, který charakterizuje rozptyl hodnot, které by mohly být důvodně přisuzovány k měřené veličině.

Chyba (měření) – výsledek měření minus pravá hodnota měřené veličiny.

Relativní chyba – podíl chyby měření a pravé hodnoty měřené veličiny (konvenčně pravé hodnoty).

Náhodná chyba – výsledek měření mínus střední hodnota, která by vznikla z nekonečného počtu měření téže veličiny uskutečněných za podmínek opakovatelnosti.

Systematická chyba – střední hodnota, která by vznikla z nekonečného počtu měření téže měřené veličiny uskutečněných za podmínek opakovatelnosti, od které se odečte pravá hodnota měřené veličiny.

Ztělesněná míra (hmotná) – zařízení určené k reprodukování nebo dodávání jedné nebo více známých hodnot dané veličiny trvalým způsobem, způsobem během používání (např.: závaží, míra objemu, etalon elektrického odporu, koncová měrka atd.).

Měřicí přístroj (měřidlo) – zařízení určené k měření samotné nebo ve spojení s přidavným zařízením.

Měřicí převodník – zařízení, které poskytuje výstupní veličinu jejíž vztah ke vstupní veličině je určen.

Měřicí řetězec – řada prvků měřicího přístroje nebo měřicího systému, která vytváří cestu pro měřicí signál od vstupu k výstupu (např.: elektroakustický měřicí řetězec obsahuje: mikrofon, zesilovač, filtr, zeslabovač a voltmetr).

Měřicí systém (sestava) – úplný soubor měřících přístrojů a jiného vybavení, který je sestaven k provádění specifikovaných měření (např.: přístrojové vybavení pro ověřování lékařských teploměrů).

Snímač – část měřicího přístroje nebo měřicího řetězce, na kterou bezprostředně působí měřená veličina. (např.: plovák u měřidla hladiny).

Ukazatel – pevná nebo pohyblivá část indikačního přístroje, jejíž poloha vzhledem ke stupnici umožňuje určení indikované hodnoty (ručička, pisátko).

Stupnice – uspořádaný soubor značek společně s jakýmkoliv přidruženým očíslováním, který tvoří část zobrazovacího zařízení měřicího přístroje.

Rozsah stupnice – soubor hodnot stupnice mezi krajními značkami stupnice.

Justování – činnost spočívající v uvedení měřicího přístroje do funkčního stavu vhodného pro jeho používání.

Seřizování – justování provedené pouze s použitím prostředků, které jsou k dispozici uživateli.

Korekce – algebraický připočtená hodnota nekorigovanému výsledku měření ke kompenzaci systematické chyby.

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.

Etalon – měřidlo měřicí přístroj, ztělesněná míra, referenční materiál nebo měřicí systém, určené k definování, realizování, uchovávání nebo reprodukování jednotky nebo jedné či více hodnot veličiny k použití pro referenční účely (např.: etalon hmotnosti 1kg, etalonová koncová měrka, etalonový ampérmetr). Soubor podobných ztělesněných měř nebo měřících přístrojů, který při jejich společném využívání vytváří etalon se nazývá skupinový etalon. Soubor etalonů zvolených hodnot, které individuálně nebo v kombinaci poskytují sérii hodnot veličin téhož druhu se nazývá sada etalonů.

Primární etalon – etalon, který je určen nebo ve velkém rozsahu uznáván jako etalon, který má nejvyšší metrologické jakost a jehož hodnota je akceptována bez navázání na jiné etalony pro tutéž veličinu (platí jak pro jednotky základní, tak i odvozené).

Sekundární etalon – etalon, jehož hodnota byla stanovena porovnáváním s primárním etalonem pro tutéž veličinu.

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

Národní etalon – etalon uznaný národním rozhodnutím k tomu, aby sloužil v dané zemi jako základ pro stanovení hodnot jiných etalonů předmětné veličiny.

Referenční etalon – etalon, který obvykle má nejvyšší metrologické kvality, které jsou k dispozici v dané lokalitě nebo v dané organizaci a od kterého se odvozují měření tam uskutečňovaná a rovněž jako měřicí standard nebo měřicí etalon.

Pracovní etalon – etalon, který je běžně používán pro kalibraci nebo kontrolu ztělesněných měř, měřících přístrojů nebo referenčních materiálů.

Porovnávací etalon – etalon používaný jako prostředek při porovnávání etalonů.

Návaznost – vlastnost výsledku měření nebo hodnoty etalonu, kterou může být určen vztah k uvedeným referenčním zpravidla národním nebo mezinárodním etalonům přes nepřerušovaný řetězec porovnávání, jejichž nejistoty jsou uvedeny. Nepřerušovaný řetězec porovnávání se nazývá řetězec návaznosti.

Kalibrace – soubor úkonů, kterými se stanoví za specifických podmínek vztah mezi hodnotami veličin, které jsou indikovány měřicím přístrojem nebo měřicím systémem nebo hodnotami reprezentovanými ztělesněnou mírou nebo referenčním materiálem a odpovídajícími hodnotami, které jsou realizovány etalony.

Referenční materiál – materiál nebo látka, jejichž jedna nebo více hodnot vlastností jsou dostatečně homogenní a stanoveny s dostatečnou úrovní k použití ke kalibraci přístrojů, k vyhodnocování měřících metod nebo pro stanovení hodnot materiálů.

2 Jednotky SI soustavy, zákon o metrologii ve všeobecnosti. Instituce činné v metrologii

V Listopadu 2018 ve francouzském Versailles byla schválena nová metodika určování jednotek. Dříve byly jednotky zhmotněné v přírodních konstantách a nyní jsou veškeré jednotky reprodukovatelné s přesností na šest platných číslic definovaných fyzikálních vztahů.

Česká republika se zavazuje k užití jednotek SI soustavy zákonem č. 505/1990 Sb. o metrologii a rovněž vyhláškou 264/2000 Sb. o základních měřících jednotkách a ostatních jednotkách a o jejich označování. Tím se řídí i Český metrologický institut jakožto garant jednotek a etalonu v České republice.

2.1 Jednotky SI soustavy

Hlavní oporou jednotek SI je norma ISO 80000 v platném vydání z roku 2011 (zkratka SI je z francouzského „*Le Système International d'Unités*“). Jejich systém je založený na mezinárodním systému veličin, jejich názvu a symbolu včetně řady předpon a jejich názvů přijaté Generální konferencí pro váhy a míry (CGPM).

Tab. 1 – základní jednotky SI soustavy

Název jednotky	Základní jednotka SI	Symbol jednotky	Definice
metr	Délka	m	Metr je vzdálenost, kterou urazí světlo ve vakuu za dobu $1/299\,792\,458$ sekundy.
sekunda	Čas	s	Sekunda je doba trvání $9\,192\,631\,770$ period záření odpovídajícího přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia 133.
kilogram	Hmotnost	kg	Je rovna hmotnosti mezinárodního prototypu kilogramu. Také je definována fixováním číselné hodnoty Planckovy konstanty rovné $6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$, je-li vyjádřena v jednotkách J·s, se rovná $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$.
ampér	Elektrický proud	A	Protéká dvěma rovnoběžnými nekonečně dlouhými vodiči o zanedbatelném průřezu umístěnými ve vakuu 1 m od sebe, jestliže mezi vodiči působí magnetická síla o velikosti 2×10^{-7} newtonu na jeden metr délky vodiče.
kelvin	Termodynamická teplota	K	Je definována fixováním číselné hodnoty Boltzmannovy konstanty rovné $1,380649 \times 10^{-23}$, je-li vyjádřena v jednotkách $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$, což se rovná $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.
kandela	Svítivost	cd	Je definována fixováním číselné hodnoty světelné účinnosti monochromatického záření o frekvenci 540×10^{12} Hz, , rovné 683, je-li vyjádřena v jednotkách $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$, což se rovná $\text{cd}\cdot\text{sr}\cdot\text{W}^{-1}$ nebo $\text{cd}\cdot\text{sr}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^3$.
mol	Látkové množství	mol	Jeden mol obsahuje přesně $6,02214076 \times 10^{23}$ elementárních entit. Toto číslo je fixovaná číselná hodnota Avogadrovy konstanty, , je-li vyjádřena v jednotce mol^{-1} a je nazývána Avogadrovo číslo. Látkové množství, symbol , systému je mírou počtu specifikovaných elementárních entit. Elementární entitou může být atom, molekula, iont, elektron nebo jakákoliv jiná částice či specifikovaná skupina částic.

2.1.1 Jednotka délky - metr

1 metr (m) je délka dráhy, kterou proběhne světlo ve vakuu za dobu $1/299792458$ sekundy (1983).

Zde byl mezinárodní prototyp metru nahrazen kvantovou definicí již v r.1960 (atom kryptonu) – v r. 1983 byla 17. CGPM přijata současná definice metru, která zároveň stanovuje hodnotu základní přírodní konstanty, rychlosti světla ve vakuu c_0 (s nulovou nejistotou). Pro praktické účely přijat Poradní výbor pro délku CCL Metrické konvence následující 3 možnosti (Mise en Practique):

a) pomocí délky dráhy l , kterou ve vakuu urazí rovinná elektromagnetická vlna za čas t ; délku určíme po změření času t pomocí vztahu $l = c_0 \cdot t$, kde $c_0 = 299\,792\,458$ m/s je rychlost světla ve vakuu;

b) pomocí vakuové vlnové délky λ rovinné elektromagnetické vlny frekvence f použitím vztahu $\lambda = c_0 / f$, kde $c_0 = 299\,792\,458$ m/s je rychlost světla ve vakuu (f se musí změřit, např. femtosekundovým hřebenem porovnáním s etalonem času - frekvence);

c) pomocí záření ze seznamu uvedeného v doporučení, jehož vakuové vlnové délky a frekvence mohou být použity s uvedenou nejistotou za předpokladu, že jsou dodrženy předepsané parametry a správná laboratorní praxe (f je v tomto doporučení stanovena).

2.1.2 Jednotka času – sekunda

Sekunda (s) je doba trvání 9 192 631 770 period záření odpovídajícího přechodu mezi dvěma velmi jemnými hladinami základního stavu atomu cesia 133 (1967).

Pod měřením času si lze představit několik různých fyzikálních situací: měření délky trvání časových intervalů (heslo: stopky), registrace četnosti událostí v časovém intervalu (heslo: měření frekvence), ale též stanovení časového sledu událostí na časové stupnici (heslo: čas). Pro ty první situace lze vystačit s definicí jednotky času, ale ta poslední úloha, pro běžný život nejdůležitější, vyžaduje definici časové stupnice a metod jejího šíření. Definice časové stupnice musí stanovit počátek počítání času a předpis, jak se vytvářejí násobky základního měřítka stupnice. Náš zákonný čas je tradičně postaven na SI sekundě jako měřítku stupnice a 1 den tvoří 24 hodin x 60 minut x 60 sekund. Počátek den je stanoven na 0:00 hodin a pro počítání dnů se používá gregoriánský kalendář. (viz normu ISO 8601).

2.1.3 Jednotka hmotnosti – kilogram

1 kilogram (kg) je roven hmotnosti mezinárodního prototypu kilogramu (1889).

Mezinárodní prototyp kilogramu je vyroben ze slitiny platiny a iridia a uchováván za přesně stanovených podmínek v Sèvres u Paříže [v r. 1901 byla tato jednotka potvrzena jako jednotka hmotnosti a nikoliv – jak tomu bylo dříve – jednotka tíhy (váhy)].

BIPM uchovává mezinárodní prototyp etalonu hmotnosti 1 kg z Pt-Ir slitiny – jde o takřka poslední (mimo teplotu) základní jednotku, jejíž realizace je dána artefaktem bez návaznosti na základní přírodní konstanty. Jednotka hmotnosti by měla být nově definována na základě experimentu s wattovými váhami metodou navrženou Kibblem, NPL (v návaznosti na Planckovu konstantu – NIST, NPL, METAS, BNM Francie) nebo ve vazbě na hmotnost protonu na základě počítání atomů v krystalu křemíku (v

návaznosti na Avogadrovu konstantu). Jak o slibnější se zatím ukazují právě probíhající experimenty s wattovými váhami. Porovnání mezinárodního prototypu 1 kg s národními prototypy ukázalo, že jeho hodnota se dlouhodobě mění v rozsahu až $5 \cdot 10^{-9}$ za rok. To by pro praktické aplikace v hmotnosti nebylo až tak podstatné, ale od jednotky hmotnosti jsou definicí ampéru odvozeny elektrické jednotky, kde se teď dosahuje vysokých přesností a opakovatelností v řádu 10^{-9} (viz dále) – řada výzkumných prací je proto v poslední době věnována nové definici kilogramu opřené o základní přírodní konstanty.

2.1.4 Jednotka elektrického proudu – ampér

1 ampér (A) je elektrický proud, který při stálém průchodu (průtoku) dvěma přímými nekonečně dlouhými rovnoběžnými vodiči zanedbatelného kruhového průřezu umístěnými ve vakuu ve vzdálenosti 1m vyvolá mezi nimi sílu $2 \cdot 10^{-7}$ newtonů na 1 metr délky.

U elektrických jednotek je dlouhodobým problémem fakt, že definici jednotky ampér v SI je velmi obtížné experimentálně realizovat v praxi s dostatečnou přesností – rozhodnutí o volbě právě ampéru jak o základní jednotce elektrických veličin byl o v podstatě libovolné, poplatné době vzniku (1946-48). Tehdy se mu dala přednost před voltem a ohmem z důvodu jednoduché fyzikální vazby na mechanické jednotky a možné přesnosti jeho realizace. Důležité je uvědomit si, že definicí ampéru v soustavě SI je zároveň přesně definována hodnota permeability vakua $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$. Na základě Maxwellova vztahu $\mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot c^2 = 1$ je pak dána hodnota permitivity vakua. Definice ampéru však není příliš vhodná jak o návod pro realizaci – odpovídající experiment s tzv. proudovými váhami byl založen na měření síly mezi 2 vodiči, zpravidla ve formě cívek. V důsledku nutnosti vodiče takto mechanicky zpracovat vzniká ve vodičích pnutí a jiné defekty, které mají za následek nerovnoměrné rozložení proudu přes jejich průřez a tím zvýšenou nejistotu ve vzájemné vzdálenosti vodičů. Z těchto i jiných důvodů se takto nepodařilo dosáhnout lepších nejistot než několikrát 10^{-6} a bylo tak nutné studovat jiné přístupy. V r. 1956 objevili australští vědci Thompson a Lampard nový elektrostatický teorém mezi určitým geometrickým uspořádáním vodičů (se středy v rozích čtverce) a jejich vzájemnou kapacitou (úhlopříčně) na jednotku délky. Tímto tzv. vypočitatelným kondenzátorem se podařilo realizovat jednotku kapacity farad s přesností několikrát 10^{-8} . Spolehlivý provoz takového etalonu se však v praxi ukázal být velmi náročný, jde o zařízení extrémně citlivé na různé vlivy, zejména otřesy, drobné mechanické defekty apod.

2.1.5 Jednotka termodynamické teploty - kelvin

1 kelvin (K) je roven $1/273,16$ termodynamické teploty trojného bodu vody (1967).

Ještě ve větší míře než u ampéru nelze definici této jednotky v SI realizovat v praxi a pro běžné účely bylo nutné definovat praktické teplotní stupnice – poslední z nich je ITS – 90. Termodynamická definice teploty je založena na 2. zákoně termodynamiky a na řadě idealizací, které nelze v praxi naplnit: zkoumaný systém musí být stále ve stavu termodynamické rovnováhy, všechny změny jeho stavu musí být vratné apod. Z teorie plyne, že pro jednoznačné určení termodynamické stupnice je třeba stanovit hodnotu pouze 1 konstanty: v r. 1954 to bylo provedeno tak, že termodynamická teplota trojného bodu vody (rovnováha 3 skupenství – vody, ledové tříště a vodních par) byla stanovena na

$T = 273,16$ K přesně. Jednotka kelvin je tak vázána na určitou vlastnost látky, ale na rozdíl od jiných jednotek není stanovena její vazba na nějakou fundamentální konstantu a v definici určena její hodnota. Přirozeně se zde nabízí Boltzmannova konstanta k - teplota je mírou neuspořádaného pohybu částic hmoty a střední kinetická energie tohoto pohybu je rovna součinu kT . v současnosti probíhají experimenty (NIST, PTB), jejichž cílem je zvýšit současnou přesnost určení k v oblasti $2 \cdot 10^{-6}$ na požadovaných $3 \cdot 10^{-7}$ – v principu to lze učinit libovolným primárním teploměrem změřením součinu kT při známé teplotě, ideálně v trojném bodu vody.

2.1.6 Jednotka látkového množství – mol

1 mol (mol) je látkové množství soustavy, která obsahuje tolik elementárních entit, kolik je atomů v $0,012$ kg uhlíku $^{12}_6\text{C}$.

V definici jednotky se hovoří o počtu elementárních jedinců v určitém množství látky monoizotopického složení – číselný počet těchto jedinců v 1 molu je dán tzv. Avogadrovou konstantou N_A . V současné době probíhá experiment (PTB, NMIJ Japonsko) pro určení přesnější hodnoty této konstanty. Je založen vlastně na počítání atomů ve vysoce čistém monokrystalu křemíku přirozeného izotopického složení o hmotnosti 1 kg ve tvaru koule, a to změřením jeho hmotnosti, objemu, mřížkové konstanty, molární hmotnosti (ve hře jsou různé izotopy Si) a tloušťky povrchové oxidační vrstvy. Problémem je mj. kvantifikace vlivu defektů krystalické mřížky. Dospělo se tak k hodnotě $N_A = 6,0221354(16) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Ač je tato hodnota v dobrém souladu s jinými experimenty stejnou metodou, je nicméně o 1×10^6 nižší než hodnota v CODATA 1998. Největší složku nejistoty představuje vliv izotopického složení přirozeného krystalu – připravuje se proto experiment s krystalem z obohaceného křemíku ^{28}Si , který by tuto nejistotu měl o řád snížit a zároveň vyřešit zmíněný rozpor s CODATA.

2.1.7 Jednotka svítivosti – kandela

1 kandela (cd) je svítivost zdroje v daném směru, který vysílá monochromatické záření o kmitočtu $540 \cdot 10^{12}$ Hz a který má v tomto směru zářivost $1/683$ wattů na steradián. Kandela je síla světla v určeném směru od zdroje ve světelném kuželu, ještě přesněji v určitém prostorovém úhlu – tzv. steradiánu (sr). Svítivost 1 kandela je potom definován jako svítivost zeleného zdroje světla o nové délce 555nm (na které je oko nejcitlivější) mající výkon $0,00146$ wattů na 1 steradián.

2.2 Další jednotky

Jednotky násobné a dílčí - Pro zjednodušení jejich vyjádření se používají jejich násobky. Soustava SI připouští výhradně dekadické násobky a díly. K vyjádření násobků nebo dílů hlavních i povolených mimosoustavových jednotek slouží předpony. Daná násobná či dílčí jednotka může obsahovat pouze jedinou takovou předponu, nelze je tedy kombinovat (i když se s tím lze v praxi občas setkat).

Tab. 2 Jednotky násobné a dílčí

Názvy a značky násobných předpon SI			Názvy a značky dílčích předpon SI		
násobek	předpona	značka	násobek	předpona	značka
10^1	deka	da	10^{-1}	deci	da-
10^2	hekto	h	10^{-2}	centi	h-
10^3	kilo	k	10^{-3}	mili	k-
10^6	mega	M	10^{-6}	mikro	M-
10^9	giga	G	10^{-9}	nano	G-
10^{12}	tera	T	10^{-12}	piko	T-
10^{15}	peta	P	10^{-15}	femo	P-
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	E-
10^{21}	zetta	Z	10^{-21}	zepto	Z-
10^{24}	yotta	Y	10^{-24}	yocto	Y-

Jednotky odvozené - Tyto jednotky jsou odvozené ze základních jednotek za pomoci matematických symbolů pro násobení a dělení (např. kilogram na metr krychlový, metr za sekundu, ...).

Tab. 3 Jednotky odvozené

Odvozené veličiny jednotek SI			
Odvozená veličina	Název	Značka	Vyjádření pomocí základních a odvoz. jednotek SI
Rovinný úhel	Radián	rad	$1 \text{ rad} = 1 \text{ m/m} = 1$
Prostorový úhel	Steradián	Sr	$1 \text{ sr} = 1 \text{ m}^2/\text{m}^2 = 1$
Kmitočet	Hertz	Hz	$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$
Síla	Newton	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$
Tlak, napětí	Pascal	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/\text{m}^2$
Energie, práce, tepelné množství	Joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N}\cdot\text{m}$
Elektrický potenciál, potenciální rozdíl, napětí, elektromotorické napětí	volt	V	$1 \text{ v} = 1 \text{ W}/\text{A}$
Kapacita	Farad	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ C}/\text{V}$
Elektrický odpor	Ohm	Ω	$1 \Omega = 1 \text{ V}/\text{A}$
Magnetický tok	Weber	Wb	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V}\cdot\text{s}$
Magnetická indukce	Tesla	T	$1 \text{ T} = 1 \text{ W}/\text{m}^2$
Indukčnost	Henry	H	$1 \text{ H} = 1 \text{ Wb}/\text{A}$
Celsiová teplota	Celsiův stupeň	$^{\circ}\text{C}$	$1 \text{ }^{\circ}\text{C} = 1 \text{ K}$
Světelný tok	Lumen	lm	$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd}\cdot\text{sr}$
Osvětlenost	Lux	lx	$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm}/\text{m}^2$
Aktivita (radionuklidu)	becquerel	Bq	$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$
Pohlčená dávka, měrná sdílená energie, kerma, index pohlčené dávky	gray	Dy	$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J}/\text{kg}$
Dávkový ekvivalent, index dávkového ekvivalentu	Sievert	Sv	$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J}/\text{kg}$

Jednotky Vedlejší – Technické oblasti využívají i další jednotky, nekoherentní s hlavními jednotkami SI. Používají dodatečné číselné koeficienty, zpravidla odvozené od přírodních konstant, nebo nejsou definovány pomocí součinů a podílů, jako v případech logaritmických veličin). V současnosti se považují za mimosoustavové, ale u některých je nadále dovoleno jejich použití souběžně s jednotkami SI.

Tab. 4 Jednotky vedlejší

Veličina	Jednotka	Značka jednotky	Převod na jednotky SI
Úhel	Úhlový stupeň	°	$1^\circ = (\pi/180) \text{ rad}$
	Úhlová minuta	'	$1' = (\pi/60)^\circ = (\pi/10800) \text{ rad}$
	Úhlová vteřina	"	$1'' = (\pi/60)' = (\pi/64800) \text{ rad}$
Hmotnost	Tuna	t	$1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg}$
	Dalton	Da	$1 \text{ Da} = 1,660\,539\,066\,60(50) \times 10^{-27} \text{ kg}$
Čas	Minuta	min	$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$
	Hodina	h	$1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$
	Den	d	$1 \text{ d} = 24 \text{ h} = 86\,400 \text{ s}$

Jednotky mimo SI soustavu

Ve specifických oborech se využívají jednotky mimo SI soustavu. Příklady používání těchto jednotek, které jsou povoleny ve specifických oborech jsou uvedeny níže v tabulce.

Tab. 5 Jednotky mimo soustavu SI

Veličina	Jednotka	Značka	Hodnota v SI jednotkách
Rychlost	Uzel	-	$1 \text{ námořní míle za hodinu} = 1852/3600 \text{ m/s}$
Délka	Námořní míle	-	$1 \text{ námořní míle} = 1852 \text{ m}$
Hmotnost	Karát	-	$1 \text{ karát} = 2 \times 10^{-4} \text{ kg/m} = 200 \text{ mg/m}$
Lineární hustota	tex	tex	$1 \text{ tex} = 10^{-6} \text{ kg/m} = 1 \text{ mg/m}$
Mohutnost optických systému	Dioptrie	-	$1 \text{ dioptrie} = 1 \text{ m}^{-1}$
Tlak kapaliny v lidském těle	Milimetry rtuti	mm Hg	$1 \text{ mm Hg} = 133,322 \text{ Pa}$
Plocha	ar	a	$1 \text{ a} = 100 \text{ m}^2$
Plocha	Hektar	ha	$1 \text{ ha} = 10^4 \text{ m}^2$
Tlak	Bar	bar	$1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa} = 10^5 \text{ Pa}$

3 Zákon o metrologii

Prvním zákonem o metrologii byl na konci roku 1990 přijat Zákon č. 505/1990 Sb. Zákon o metrologii, který obsahoval: schvalování typu měřidel, ověřování a kalibrace, úkoly orgánu státní správy a jejich sankce při neplnění.

Právním základem metrologie je zákon č. 505/1990 Sb.– o metrologii ve znění zákona č.119/2000 Sb. Účelem zákona je úprava práv a povinností fyzických osob, které jsou podnikateli, právnických osob (dále jen „subjekty“) a orgánů státní správy, a to v rozsahu potřebném k zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření.

Právní předpisy v oblasti metrologie:

Zákonem č. **505/1990 Sb.** o metrologii

Vyhláška č. **262/2000 Sb.**, kterou se zajišťuje jednotnost a správnost měřidel a měření.

(jejich novelizace)

- zákonem č. **20/1993 Sb.**
- zákonem č. **119/2000 Sb.**
- zákonem č. **13/2002 Sb.**
- zákonem č. **137/2002 Sb.**
- zákonem č. **226/2003 Sb.**
- zákonem č. **444/2005 Sb.**
- zákonem č. **481/2008 Sb.**
- zákonem č. **223/2009 Sb.**
- zákonem č. **155/2010 Sb.**
- zákonem č. **18/2012 Sb.**
- zákonem č. **85/2015 Sb.**
- zákonem č. **264/2016 Sb.**
- zákonem č. **183/2017 Sb.**
- zákonem č. **152/2021 Sb.**

(jejich novelizace)

- vyhláškou č. **344/2002 Sb.**
- vyhláškou č. **229/2010 Sb.**
- vyhláškou č. **125/2015 Sb.**

Více a podrobnější znění o zákonech naleznete na internetových stránkách UNMZ - Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, ten byl zřízen zákonem České národní rady č. 20/1993 Sb. o zabezpečení výkonu státní správy v oblasti technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví. ÚNMZ je organizační složkou státu v resortu Ministerstva průmyslu a obchodu ČR. Hlavním posláním ÚNMZ je zabezpečovat úkoly vyplývající ze zákonů České republiky upravujících technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví a úkoly v oblasti technických předpisů a norem uplatňovaných v rámci členství ČR v Evropské unii. Od 1.1.2018 přechází všechny činnosti související s tvorbou, vydáváním a distribucí technických norem na Českou agenturu pro standardizaci (ČAS).

Obsah Zákonu o metrologii:

Uznávané jednotky SI

Subjekty a orgány státní správy jsou povinny používat základní měřicí jednotky, jejich označování, násobky a díly stanovené vyhláškou.

3.1 Měřidla

Měřidlo slouží k určení hodnoty měřené veličiny. Spolu s nezbytnými pomocnými měřicími zařízeními se pro tyto účely dělí na: etalony, pracovní měřidla stanovená, pracovní měřidla nestanovená (nebo také pracovní měřidla) a certifikované referenční materiály.

- **Etalony** slouží k realizaci a uchování jednotky určité veličiny nebo stupnice a přenosu na měřidla nižší přesnosti.
- **Pracovní měřidla stanovená** (dále jen stanovená měřidla) - měřidla, které Ministerstvo průmyslu a obchodu stanoví vyhláškou k povinnému ověřování s ohledem na jejich význam pro ochranu zdraví, životního prostředí, bezpečnost při práci atd..
- **Pracovní měřidla nestanovená** (dále pracovní měřidla) - nejsou etalonem ani stanoveným měřidlem.
- **Certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály** jsou materiály nebo látky přesně stanoveného složení nebo vlastností, používané pro ověřování nebo kalibraci přístrojů, vyhodnocování měřících metod a kvantitativní určování vlastností materiálů.

Měřicími prostředky souhrnně rozumíme:

- měřidla,
- měřicí převodníky,
- pomocné měřicí zařízení,
- referenční materiály.

Měřidlo je technický prostředek určený k měření a zahrnuje pod společným názvem měřicí přístroje a zhmotněné míry

Klasifikace měřidel se dá rozčlenit podle různých kritérií:

- podle určení,
 - pracovní – určené na měření hodnoty v laboratořích, ve výrobě, apod.
 - etalony – jsou určeny na realizaci, uchování a reprodukování jednotky. Mohou to být zhmotněné míry, měřicí přístroje nebo měřicí systémy (např. etalon hmotnosti 1 kg, etalonový ampérmetr, etalonová vodíková elektroda).
- podle formy zaznamenaného údaje,
 - zobrazovací – např. ručičkový ampérmetr, posuvné měřidlo.

- zapisovací – např. zapisovací spektrometr, seismograf.
- podle charakteru zaznamenaného údaje,
 - analogové – naměřené údaje jsou spojitou funkcí měřené veličiny.
 - digitální (číslíkové) – naměřené údaje jsou ve formě hodnoty (čísla).
- podle druhu měřené veličiny se speciálními názvy,
 - s názvem veličiny a příponou metr – tachometr.
 - s názvem jednotky a příponou metr – ampérmetr.
 - s názvem veličiny a příponou měř – tlakoměr.
 - s názvem měřeného prostředí a příponou měř – plynoměr.
 - jinak – stopky, váhy.
- podle styku s měřenou plochou,
 - dotykové – přicházejí do přímého kontaktu s měřenou plochou.
 - bezdotykové – nepřicházejí do kontaktu s měřenou plochou.

3.2 Návaznosti měřidel

Lze chápat jako vlastnost výsledků měřidla dané schopností prokázat vztah k příslušným etalonům, obvykle mezinárodním nebo státním, pomocí nepřerušného řetězce porovnání.

Státní etalony mají pro příslušný obor měření nejvyšší metrologickou jakost ve státě. Schvaluje je Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), který stanoví způsob jejich tvorby, uchovávání a používání. Státní etalony uchovává Český metrologický institut (ČMI) nebo oprávněné subjekty pověřené ÚNMZ k této činnosti. Státní etalony se navazují hlavně na mezinárodní etalony uchovávané dle mezinárodních smluv nebo na státní etalony jiných států s odpovídající metrologickou úrovní.

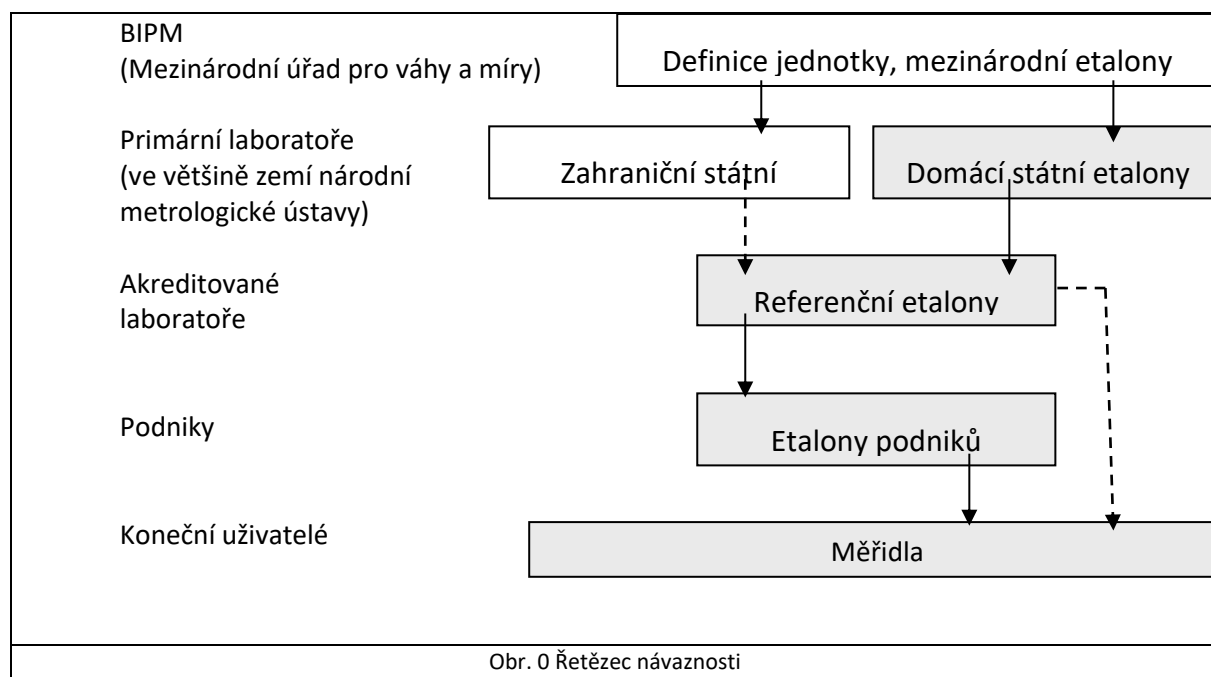
- **Státní etalon** - etalon uznaný národním orgánem k využití v zemi nebo ekonomice jako základ pro převod hodnoty veličiny na jiné etalony pro daný druh veličiny
- **Primární etalon** - etalon stanovený použitím primárního postupu měření nebo vytvořený konvencí zvoleným artefaktem.
- **Sekundární etalon** - etalon stanovený kalibrací vzhledem k primárnímu etalonu pro veličinu stejného druhu.
- **Referenční etalon** - etalon navržený ke kalibraci dalších etalonů pro veličiny daného druhu v dané organizaci nebo v dané lokalitě.
- **Pracovní etalon** - etalon, který je běžně používán ke kalibraci nebo ověřování měřidel nebo měřicích systémů.

Státní etalony mají pro příslušný obor měření nejvyšší metrologickou jakost ve státě. Schvaluje je Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), který stanoví způsob jejich tvorby,

uchovávání a používání. Státní etalony uchovává Český metrologický institut (ČMI) nebo oprávněné subjekty pověřené ÚNMZ k této činnosti. Státní etalony se navazují hlavně na mezinárodní etalony uchovávané dle mezinárodních smluv nebo na státní etalony jiných států s odpovídající metrologickou úrovní.

Klasické zabezpečení jednotnosti a správnosti měření je v předpokladu o vertikální uspořádání řetězce návaznosti, kde jsou mezi etalony postupně rostoucích řádů (primární etalon má řád 0). Praktická metrologie vede ke zvýraznění potřeby porovnávání etalonů stejných řádů.

V souvislosti s intenzifikací mezinárodní spolupráce a s ujednáními o vzájemném uznávání metrologických výkonů (a úkonů akreditace) roste potřeba sledování možné korelace mezi etalony různých institucí a zjistit skutečné zdroje návaznosti.



3.2.1 Certifikované referenční materiály

jsou materiály, jejichž složení nebo vlastnosti byly certifikovány ČMI nebo autorizovaným metrologickým střediskem. Certifikaci referenčního materiálu se potvrzuje hodnota jedné nebo více vlastností materiálu nebo látky postupem zajišťujícím návaznost na správnou realizaci jednotky, kterou se vyjadřují hodnoty vlastnosti, uvedené v certifikátu (náležitosti certifikátu stanoví ministerstvo vyhláškou). Pro ověřování stanovených měřidel nebo kalibraci hlavních etalonů lze použít jen certifikované referenční materiály.

3.2.2 Ověřování a kalibrace měřidel

je zjištění a potvrzení, že dané měřidlo má požadované metrologické vlastnosti (postup ověřování stanovených měřidel stanoví ministerstvo vyhláškou). O ověření stanoveného měřidla vydá ČMI nebo

autorizované metrologické středisko ověřovací list nebo měřidlo opatří úřední značkou (náležitosti ověřovacího listu a grafickou podobu úřední značky stanoví ministerstvo vyhláškou).

Měřidla, která mají původ v zemích Evropského společenství se považují za měřidla ověřena dle tohoto zákona, pokud jsou označena značkami platnými v Evropském společenství a stanoveny vyhláškou ministerstva. Při kalibraci pracovního měřidla se jeho metrologické vlastnosti porovnávají zpravidla s etalonem; není-li etalon k dispozici, lze použít certifikovaný nebo ostatní referenční materiál za předpokladu dodržení zásad stanovených schématem návaznosti.

3.3 Schvalování typu měřidel

Měřidla podléhající schvalování typu ještě před zahájením výroby stanoví ministerstvo vyhláškou. Na žádost mohou být schváleny i typy jiných nově vyráběných měřidel. Schvalování typu měřidla provádí Český metrologický institut. Zjišťuje, zda měřidlo bude schopno plnit funkci, pro kterou je určeno, a zda nemůže ohrozit bezpečnost při práci, zdraví nebo život jeho uživatelů nebo životní prostředí. Postup schvalování určí ministerstvo vyhláškou. Na základě zkoušek a dalších zjištění Český metrologický institut vydá certifikát, že měřidlo jako typ schvaluje a přidělí mu značku schválení typu, kterou musí výrobce (pokud tak stanoví ministerstvo vyhláškou) umístit na měřidlo. Platnost certifikátu o schválení typu měřidla zaniká uplynutím deseti let od data jeho vydání. Tuto lhůtu může ČMI na žádost výrobce nebo dovozce prodloužit o dalších deset let. Platnost certifikátu o schválení typu se pozastavuje, jestliže změnou konstrukce měřidla, použitého materiálu nebo technologie jeho výroby byly ovlivněny vlastnosti rozhodné pro jeho schválení.

Výrobce měřidla schváleného typu je povinen hlásit ČMI tyto změny a ten rozhodne, zda je nutné provést nové schválení nebo zda zůstává v platnosti schválení původní. ČMI může platnost certifikátu o schválení typu měřidla pozastavit nebo i zrušit sám, jestliže vyráběná měřidla neodpovídají schválenému typu. Měřidla neschváleného typu, pokud měl být typ schválen, nelze uvádět do oběhu. ČMI je oprávněn zjišťovat u výrobce, zda jsou měřidla vyráběna dle schváleného typu.

Nově dovážené typy stanovených měřidel podléhají povinnému schvalování typu. Žádost o schválení typu dovezeného měřidla podává ČMI ten, kdo uskutečňuje dovoz, pokud již nebyl typ schválen na žádost zahraničního výrobce před realizací dovozu.

Měřidla, která mají původ ve státech Evropských společenství, se považují za měřidla, jejichž typ byl schválen podle tohoto zákona, pokud jsou označena značkami platnými v Evropském společenství a jsou stanoveny vyhláškou ministerstva.

3.3.1 Hotově balené zboží značené symbolem „e“

Hotově balené zboží označené symbolem „e“ je pro účel zákona zboží určené k prodeji a umístěné do obalu bez přítomnosti spotřebitele, jehož množství obsažené v obalu, hlavně objem nebo hmotnost má předem stanovenou hodnotu, kterou nelze změnit bez otevření nebo zjevného porušení obalu. Lze prodávat výrobky i bez tohoto symbolu ale bez garance správnosti stavu (množství, gramáže, objemu,

patříčné kvality produktu). Symbol zaručuje splnění předpisu EU uvádění objemu nebo hmotnosti a o metodách měření, které musíte jako prodejce výrobků v hotovém balení používat.

Symbol „e“ se na balení tiskne vedle údaje o hmotnosti nebo objemu. Výška písma by měla být nejméně 3 mm. Na balení by mělo být viditelně a nesmazatelně uvedeno označení „e“ a údaj o množství. Množství výrobku musí být uvedeno v číselné podobě a po ní musí následovat měrná jednotka (gramy, kilogramy, mililitry, centilitry nebo litry) nebo zkratka (g, kg, ml, cl nebo l).

Balírný nebo dovozce hotově baleného zboží před uvedením do oběhu jsou oprávněni je označit symbolem „e“ pokud:

- Mají osvědčení o metrologické kontrole hotově baleného zboží vydané ČMI (způsob a metody metrologické kontroly a náležitosti osvědčení stanoví ministerstvo vyhláškou).
- Je dodržena hodnota jmenovitého obsahu a řady jmenovitých množství obsahu hotově baleného zboží v případech stanovených vyhláškou.
- Jsou dodrženy dovozené odchylky obsahu hotově baleného zboží stanovené vyhláškou.
- Jsou uvedeny na obalech hotově baleného zboží údaje stanovené vyhláškou.

Jako balírna musíte zajistit, aby balení, které plníte, splňovalo příslušné požadavky. Za tím účelem musíte:

- používat úředně uznaná měřidla a postupy pro balení výrobků
- vést záznamy o kontrolách, které provádíte, aby se zajistilo správné provádění měření.

Jako dovozce musíte doložit, že výrobky v hotovém balení, které dovážíte, splňují příslušné požadavky. Tímto dokladem mohou být výše uvedené zaznamenané kontroly.

Vnitrostátní orgány provádějí kontroly, aby ověřily, zda výrobky označené symbolem „e“ dané požadavky splňují. Mohou tak učinit v balírně nebo jinde v distribučním řetězci.

3.3.2 Uvedení měřidel do oběhu, jejich požití a pokuty subjektům

Zákon o metrologii 505/1990 Sb. hovoří, že před uvedením stanovených měřidel do oběhu má jejich výrobce a po provedení opravy těchto měřidel oprávněnci povinnost zajistit jejich prvotní ověření, u ostatních měřidel jejich prvotní kalibraci. Výrobce certifikovaného referenčního materiálu má před jeho uvedením do oběhu povinnost předložit referenční materiál k certifikaci.

Prvotní ověření dovážených stanovených měřidel, prvotní kalibraci dovážených etalonů a pracovních měřidel a certifikaci dovážených referenčních materiálů zajišťuje jejich uživatel, pokud tak již nebylo zajištěno dovozcem nebo zahraničním výrobcem.

Stanovených měřidel může být používáno pro daný účel jen po dobu platnosti provedeného ověření. ČMI je oprávněn zjišťovat u uživatelů plnění povinnosti předkládat stanovené měřidlo k ověření. Pokud je měřidlo užíváno bez platného ověření, měřidlo zaplombuje nebo zruší úřední značku. Jednotnost a

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

Výkony v metrologii se poskytují za úplatu, pokud předpisy o správních poplatcích nestanoví vyměření poplatku.

Úřad může uložit pokutu až do výše 1 000 000,- Kč subjektu, který např.:

- Uvedl do oběhu měřidlo, jehož typ nebyl schválen, ač měl být nebo které nemělo vlastnosti schváleného typu anebo nebylo ověřeno, i když mělo být,
- Použil stanovené měřidlo bez platného ověření k účelu, pro který byl předmětný druh měřidla vyhlášen jako stanovený,
- Neoprávněně použil, pozměnil nebo poškodil úřední nebo kalibrační značku měřidla,
- Ověřil stanovené měřidlo nebo provedl úřední měření bez oprávnění nebo vyrobil, popřípadě opravil měřidlo bez registrace předepsané zákonem,
- Neposkytl zaměstnancům ČMI zákonem stanovenou součinnost,
- Neplní stanovené povinnosti,
- Použil ke kalibraci hlavního etalonu referenční materiál bez certifikátu nebo opatřil certifikovaný referenční materiál neplatným certifikátem,
- Uvedl do oběhu hotově balené zboží označení symbolem „e“ v rozporu se stanovenými povinnostmi.

Při ukládání pokut se přihlíží hlavně k závažnosti, způsobu, době trvání a následkům protiprávního jednání. Pokuta je splatná do 30 dnů od nabytí právní moci rozhodnutí o uložení pokuty. Výnos pokut plyne do státního rozpočtu.

4 Instituce činné v metrologii

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

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.

NMS lze rozdělit na následující základní oblasti:

- **fundamentální metrologii (FM)**, zabývající se soustavou jednotek a fyzikálních konstant, uchováváním a rozvojem státních etalonů, přenosem jednotek na nižší etalonážní řády a vědou a výzkumem v metrologii,
- **průmyslovou metrologii (LM)**, sloužící k zabezpečení jednotnosti a přesnosti měření a následně jakosti výroby a služeb v širokém spektru oborů (neregulovaná sféra metrologie),
- **legální metrologii (PM)**, zabezpečující jednotnost a přesnost měření v regulované sféře podle platné právní úpravy.

Národní metrologický systém ČR se opírá o tradičně silnou a technicky vyspělou vrstvu kalibračních laboratoří a metrologických laboratoří podniků. Jeho současný model je (včetně provedených novelizací zákona o metrologii) slučitelný se systémy zavedenými v zemích EU.

V oblasti řízení, legislativy a koncepcí (v návaznosti na kompetenční zákon) působí:

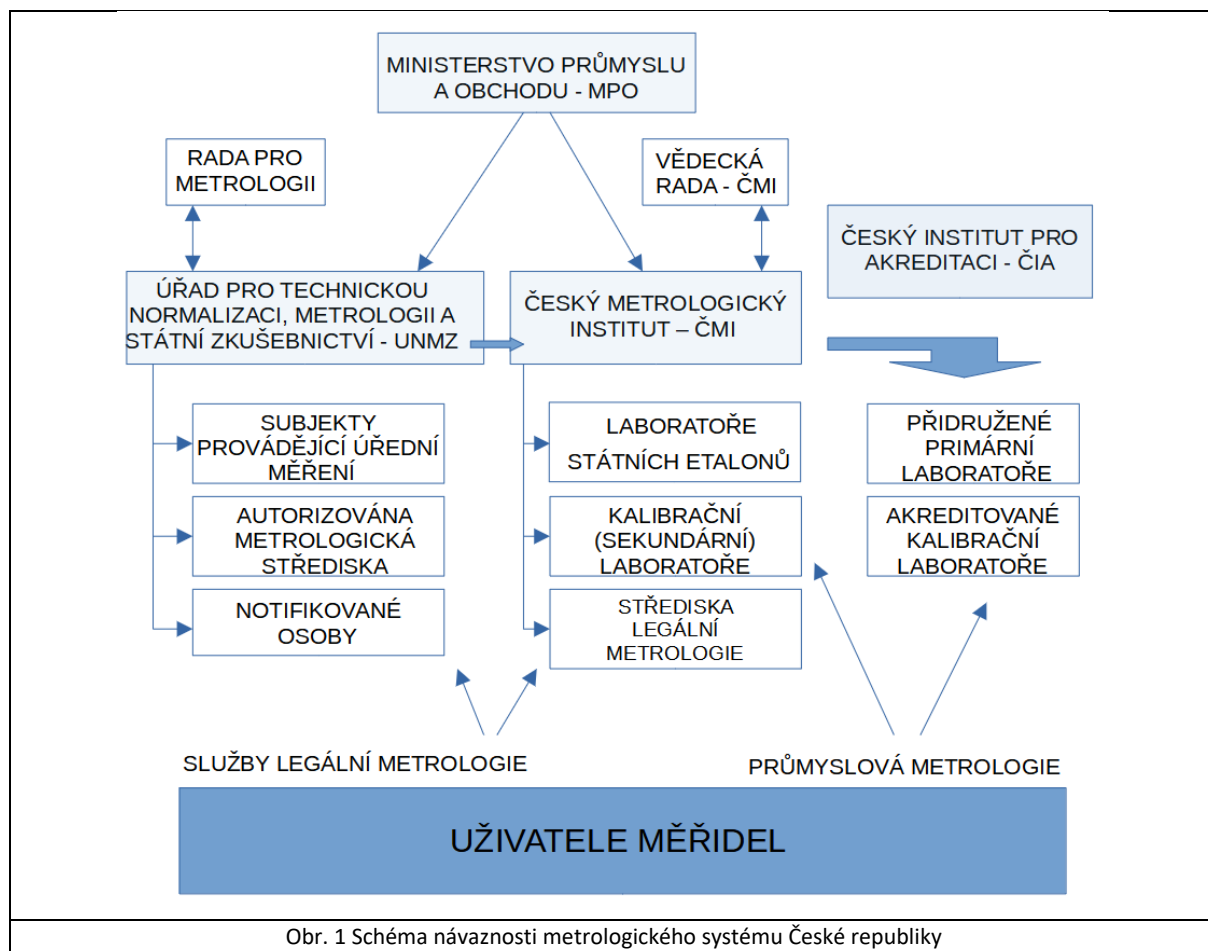
- Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR (MPO) – ústřední orgán státní správy i pro oblast metrologie, především řídí podřízené organizace (ÚNMZ, ČMI apod.)
- Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ, dále též Úřad) - organizační složka státu zřízená MPO, která z pověření MPO metodicky řídí oblasti normalizace, metrologie, zkušebnictví (posuzování shody) a akreditace po věcné stránce.

V oblasti výkonné metrologie působí:

- Český metrologický institut (ČMI, dále též Institut) se sídlem v Brně, příspěvková organizace zřízená MPO,
- organizace pověřené podle zákona o metrologii uchováváním některých státních etalonů,
- autorizovaná metrologická střediska (AMS) působící v oblasti legální metrologie,
- kalibrační laboratoře (zpravidla akreditované, vesměs soukromé),
- metrologická pracoviště podniků,
- registrovaní výrobci, opravci a montážní organizace,
- subjekty autorizované pro úřední měření,

- akreditační systém – ČIA.

Národní metrologický systém ČR je zcela srovnatelný a slučitelný se systémy, běžnými v členských státech Metrické konvence a zejména se systémy zemí v EU. Tomu odpovídá také zapojení do mezinárodní spolupráce na všech relevantních úrovních, včetně členství a práce v orgánech Metrické konvence, EURAMET e.V., OIML, WELMEC e.V. a dalších.



Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO)

Ústřední orgán státní správy pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví – viz zákon č. **2/1969 Sb.** a zákon č. **20/1993 Sb.**, o zabezpečení výkonu státní správy v oblasti technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví.

Úkoly Ministerstva průmyslu a obchodu jsou:

- řídí státní politiku a vypracovává koncepci rozvoje metrologie.
- vypracovává koncepcí 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.

ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ (UNMZ)

Orgán státní správy pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Působnost v metrologii je dána zákonem č. **20/1993 Sb.**, a zákonem č. **505/1990 Sb.**, o metrologii.

Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ):

- Řídící orgán - sídlí v Praze.
- Zabezpečuje úkoly vyplývající ze zákona o metrologii a navazujících vyhlášek a úkoly v oblasti sbližování technických předpisů a norem ČR s dokumenty EU.
- Stanovuje program státní metrologie a zabezpečuje jeho realizaci.
- Zastupuje Českou republiku v mezinárodních metrologických orgánech a organizacích, zajišťuje úkoly vyplývající z tohoto členství a koordinuje účast orgánů a organizací na plnění těchto úkolů i úkolů vyplývajících z mezinárodních smluv.
- Autorizuje subjekty k výkonům v oblasti státní metrologické kontroly měřidel a úředního měření, pověřuje oprávněné subjekty k uchovávání státních etalonů, pověřuje střediska kalibrační služby a kontroluje plnění stanovených povinností u všech těchto subjektů; při zjištění nedostatků v plnění stanovených povinností může autorizaci odebrat.
- Uděluje souhlas s navázáním hlavních etalonů na etalony zahraničních subjektů se srovnatelnou metrologickou úrovní.
- Provádí kontrolu činnosti Českého metrologického institutu.
- Poskytuje metrologické expertizy, vydává osvědčení o odborné způsobilosti metrologických zaměstnanců a stanoví podmínky za účelem zajištění jednotného postupu subjektů pověřených uchováváním státních etalonů, autorizovaných metrologických středisek, středisek kalibrační služby a subjektů pověřených výkonem úředního měření.
- Zveřejňuje ve Věstníku Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví zejména subjekty pověřené k uchováváním státních etalonů, autorizovaná metrologická střediska, subjekty autorizované pro úřední měření, střediska kalibrační služby, státní etalony, seznamy certifikovaných referenčních materiálů a schválené typy měřidel atd.

Český metrologický institut (ČMI)

Působnost v metrologii je dána zákonem o metrologii a zřizovací listinou. Plní funkci národního metrologického institutu.

Hlavní působnosti ČMI v metrologii:

- provádí metrologický výzkum a uchovávání státních etalonů včetně přenosu hodnot měřících jednotek na měřidla nižších přesností,
- provádí certifikaci referenčních materiálů,
- vykonává státní metrologickou kontrolu měřidel,
- registruje subjekty, které opravují stanovená měřidla, popřípadě provádějí jejich montáž,
- vykonává státní metrologický dozor u autorizovaných metrologických středisek, u subjektů autorizovaných pro výkon úředního měření, u subjektů, které vyrábějí nebo opravují stanovená měřidla, popřípadě provádějí jejich montáž, u uživatelů měřidel,
- provádí výzkum a vývoj v oblasti elektronické komunikace a podílí se na mezinárodní spolupráci v této oblasti,
- provádí metrologickou kontrolu hotově baleného zboží a lahví,
- posuzuje shodu a provádí zkoušení výrobků v rozsahu udělených autorizací či akreditace podle právního předpisu
- posuzuje technickou způsobilost měřících zařízení a technických zařízení pro využití v elektronických komunikacích,
- poskytuje odborné služby v oblasti metrologie.
- Český metrologický institut oznamuje orgánům Evropských společenství nebo příslušným orgánům států, se kterými jsou uzavřeny mezinárodní smlouvy, v rozsahu z těchto smluv vyplývajícím, informace o vydání, změnách, zrušení nebo omezení certifikátů týkajících se schvalování měřidel.
- Může povolit předběžnou výrobu před schválením typu měřidla,
- Může povolit krátkodobé používání stanoveného měřidla v době mezi ukončením jeho opravy a ověřením s omezením této doby.

Střediska kalibrační služby (SKS)

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.

Autorizována metrologická střediska (AMS)

Autorizovaná metrologická střediska – subjekty, autorizované k ověřování stanovených měřidel nebo certifikaci referenčních materiálů (**§ 16 zákona č. 505/1990 Sb.**).

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 autorizovaní 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. 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.

Český institut pro akreditaci (ČIA)

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.

- 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.

Oblastní inspektoráty Českého metrologického institutu (OIČMI)

Oblastní inspektoráty ČMI:

- ČMI má 7 regionálních inspektorátů (Praha, Plzeň, České Budějovice, Liberec, Pardubice, Brno, Opava) a 4 pobočky (Most, Jihlava, Kroměříž, Olomouc),
- zabezpečují sekundární etalonáže,
- zabezpečují výkon státní metrologické kontroly měřidel v rozsahu své působnosti atd.

Česká metrologická společnost (ČMS)

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.

5 Chyby měření

Terminologie

Chyba měření (VIM 2.16) – naměřená hodnota veličiny minus referenční hodnota veličiny.

Systematická chyba měření (VIM 2.17) – složka chyby měření, která v opakovaných měřeních zůstává konstantní nebo se mění předvídatelným způsobem.

Náhodná chyba měření (VIM 2.19) – složka chyby měření, která se v opakovaném měření mění nepředvídatelným způsobem.

Podmínka opakovatelnosti měření (VIM 2.20) – 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 (VIM 2.21) – preciznost měření ze souboru podmínek opakovatelnost měření.

Podmínka reprodukovatelnosti měření (VIM 2.24) – podmínka měření ze souboru podmínek, který zahrnuje různá místa, obslužný personál, měřicí systémy a opakování měření na stejných nebo podobných objektech.

Reprodukovatelnost měření (VIM 2.25) – preciznost měření za podmínek reprodukovatelnosti měření.

Nejistota měření (VIM 2.26) – nezáporný parametr charakterizující rozptýlení hodnot veličiny přiřazených k měřené veličině na základě použité informace. Kdy v poznámce je uvedeno, že tímto parametrem může být např. směrodatná odchylka (nebo její daný násobek).

Vyhodnocení nejistoty měření způsobem A (VIM 2.28) – vyhodnocení složky nejistoty měření statistickou analýzou naměřených hodnot veličiny získaných za definovaných podmínek měření.

Vyhodnocení nejistoty měření způsobem B (VIM 2.29) – vyhodnocení složky nejistoty měření stanovené jiným způsobem než vyhodnocení nejistoty měření způsobem A.

Standardní nejistota měření (VIM 2.30) – nejistota měření vyjádřená jako směrodatná odchylka.

Kombinovaná standardní nejistota měření (VIM 2.31) – standardní nejistota měření, která je získána použitím individuálních standardních nejistot měření přidružených ke vstupním veličinám v modelu měření.

Přesnost měření (VIM 2.13) – těsnost shody mezi naměřenou hodnotou veličiny a pravou hodnotou naměřené veličiny.

Měření je soubor experimentálních úkonů, jejichž cílem je určení hodnoty určité veličiny, tj. určení kvantitativní charakteristiky určitého kvalitativního znaku (vlastnosti) určitého objektu. Opakujeme-li měření za stejných podmínek zjistíme, že výsledky měření se od sebe více nebo méně liší. Toto je způsobeno nepřesnostmi měřícího systému, nedodržením konstantních podmínek měření atd. **Každé měření je zatíženo chybou.**

Chyba měření (absolutní) je rozdíl mezi naměřenou hodnotou a pravou (konvenčně pravou) hodnotou, udává se v jednotkách měřené veličiny:

$$\varepsilon = y - x$$

kde: ε ... absolutní chyba,
 y ... naměřená hodnota,
 x_0 ... pravá (konvenčně pravá, skutečná) hodnota.

Cílem měření je určení skutečné hodnoty, je to možné jen určením chyby měření. Chyba je kladná, je-li naměřená hodnota větší než pravá (konvenčně pravá, skutečná) hodnota a při odhadu skutečné hodnoty se od naměřené hodnoty odečítá (postup se nazývá korekce naměřené hodnoty).

Relativní chyba je poměr absolutní chyby měření a pravé (konvenčně pravé) hodnoty měřené veličiny:

$$\delta = \frac{\varepsilon}{x_0} \quad \text{popř.:} \quad \delta = \frac{\varepsilon}{x_0} \cdot 100 [\%]$$

Hlavní příčiny vzniku chyb:

- Měřidlo, měřicí systém (jsou dány nedokonalosti a nespolehlivosti měřících přístrojů, např.: chyby tření, chyby způsobené posunutím nuly, chyby umístění atd.).
- Měřicí metoda (nerespektování dynamických vlastností měřidel, zanedbání některých funkčních závislostí - nepřímé měření), - podmínky, při kterých se měření provádí (hlavně chyba teplotní).
- Podmínky, při kterých se měření provádí (hlavně chyba teplotní).
- Osoba, která měření provádí a vyhodnocuje (závisí na subjektivních vlastnostech osoby pozorovatele – zručnost, zkušenost, kvalifikace, psychický stav, chyba paralaxy, omezená rozlišovací schopnost).

Členění chyb:

- Dle časové závislosti: statické, dynamické.
- Dle možnosti vyloučení: odstranitelné, neodstranitelné.
- Dle způsobu výskytu: chyby hrubé, chyby systematické, chyby náhodné.

5.1 Náhodné chyby

Jsou způsobené příčinami náhodného charakteru co do velikosti a směru působení. Při každém jednotlivém měření určité veličiny se vyskytují náhodné chyby a ovlivňují každou naměřenou hodnotu. Při opakovaném měření za stejných podmínek (osoba, metoda, měřidlo, prostředí apod.) bude soubor naměřených hodnot v důsledku působení náhodných chyb vykazovat minimální rozptyl (velikost rozptylu je úměrná vlivu náhodných chyb). Z jedné naměřené hodnoty nelze posoudit vliv náhodných vlivů, ale pouze ze souboru naměřených korigovaných hodnot je možno určit velikost náhodné chyby pomocí intervalu, ve kterém se bude nacházet s určitou pravděpodobností „skutečná“ hodnota naměřené veličiny.

Obecné vlastnosti náhodných chyb je možno vyjádřit dvěma zákony statistického charakteru:

- Malé chyby jsou častější než chyby velké,
- Chyby kladné jsou stejně četné jako chyby záporné (za předpokladu symetrického rozložení chyb).
- Ve strojírenství mají nejčastěji Gaussovo normální rozdělení.

Normální náhodná veličina nabývá hodnot v intervalu $\langle -\infty, \infty \rangle$ s hustotou pravděpodobnosti výskytu:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

kde: σ ... směrodatná odchylka
 x_i ... dílčí hodnoty
 μ ... střední hodnota

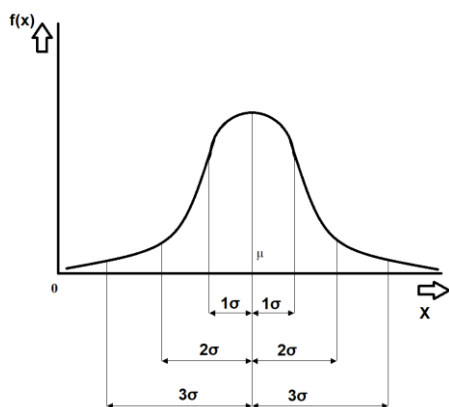
distribuční funkce:

$$F(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot dx = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2}} \cdot dx$$

Normální rozdělení má dva parametry:

μ – střední hodnotu a
 σ - směrodatnou odchylku.

V bodě μ nabývá $f(x)$ maximum a je symetrická kolem přímky $x = \mu$. Parametr σ vymezuje takovou vzdálenost od μ , že v těchto hodnotách má funkce $f(x)$ inflexní body.

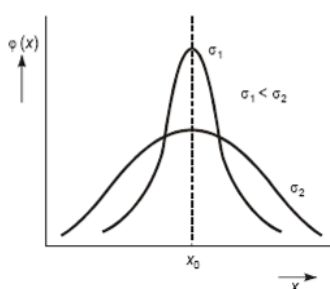


Obr. 1 Parametry normálního rozdělení

interval $\langle \mu - \sigma, \mu + \sigma \rangle$ obsahuje 68,27 % náhodné veličiny,

interval $\langle \mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma \rangle$ obsahuje 95,45% náhodné veličiny,

interval $\langle \mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma \rangle$ obsahuje 99,73% náhodné veličiny.

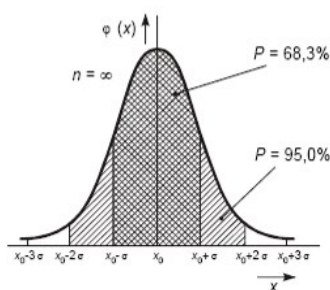


Obr. 2 Gaussovo rozdělení

S pomocí funkce $\phi(x)$ je možné určit pravděpodobnost tak, aby naměřená veličina byla v určitém intervalu (obrázek. 3.2). Pokud:

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{x_0-\sigma}^{x_0+\sigma} \exp\left\{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right\} dx = 0,683,$$

pak pravděpodobnost, že se naměřená hodnota nachází v intervalu $x_0 - \sigma, x_0 + \sigma$, je 68,3 %. v intervalu $x_0 \pm 2\sigma$ je to 95 %, mim o interval $x_0 \pm 3\sigma$ bude pouze 3 promile hodnot.



Obr. 3 Intervaly pravděpodobnosti

U souboru s konečným počtem měření (výběrový soubor) můžeme ale mluvit jen o nejpravděpodobnější hodnotě měřené veličiny, která se skutečné hodnotě bude blížit. Jak o nejlepší odhad skutečné hodnoty x_0 použijeme aritmetický průměr \bar{x} z n naměřených hodnot x_1, x_2, \dots, x_n .

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

kde: n – počet měření,

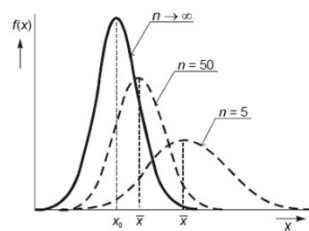
x_i – hodnoty naměřených veličin ($i = 1, 2, \dots, n$).

Jestliže zvětšujeme počet měření, hodnota aritmetického průměru se přibližuje skutečné hodnotě

Mírou rozptylu v základním souboru je směrodatná odchylka σ . Rozptyl hodnot výběrového souboru charakterizuje výběrová směrodatná odchylka s jednoho měření:

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

S rostoucím počtem n měření se přesnost měření zvyšuje. Proto pro opakovaná měření zavádíme výběrovou směrodatnou odchylku aritmetického (výběrového) průměru \bar{s} , která závisí na tom, jak se od sebe liší x_0 a \bar{x} (viz obrázek 3.3).



Obr. 4 Vliv počtu měření na hodnotu \bar{x}

Plná křivka znázorňuje rozložení hodnot x kolem skutečné hodnoty x_0 , zatímco čárkované křivky znázorňují rozložení naměřených hodnot kolem aritmetického průměru. Z výše uvedeného obr. xxx vyplývá, že s rostoucím n se hodnota aritmetického průměru přibližuje ke skutečné hodnotě x_0 . Výběrovou směrodatnou odchylku aritmetického průměru vypočteme ze vztahu:

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

Postup určení náhodné chyby pro zvolenou pravděpodobnost:

Pro zvolenou pravděpodobnost p určíme hodnotu $\Phi(Z)$:

$$\Phi(Z) = \frac{P}{2}$$

- pro hodnotu $\Phi(Z)$ určíme hodnotu Z (Z ... normovaná náhodná veličina pro jednotkovou směrodatnou odchylku) - pomocí tabulek,

- náhodná chyba pro zvolenou pravděpodobnost p:

$$\varepsilon_n = Z \cdot s(\bar{x})$$

Takto stanovena hodnota náhodné chyby určuje interval kolem průměru \bar{x} , ve kterém se bude nacházet skutečná hodnota naměřené veličiny s předem stanovenou pravděpodobností.

Hodnotu $s(\bar{x})$ používáme ke stanovování nejistot typu A (uA). Pravděpodobnost směrodatné odchylky (68,27% - standardní nejistota) nevyhovuje, požadujeme vyšší hladinu pravděpodobnosti. Hodnota $s(\bar{x})$ je vhodná pro srovnávání dvou nebo více řad měření, ale pro porovnávání s předem požadovanými hodnotami (např.: tolerancemi rozměrů na technických výkresech) není vhodná, protože při žádném měření nelze pominout existenci chyb měření, nelze také zabezpečit 100% jistotu výsledku, proto se zavádí pojem nejistota měření (viz samostatná kapitola), která nahrazuje vyjádření pomocí krajní chyby. Hodnoty pravděpodobnosti krajní nejistoty se blíží 100% a tak můžeme naměřené výsledky porovnávat s předem požadovanými hodnotami. Vyjádření nejistot je opačné než u chyb (nejistotě 5% odpovídá „krajní chyba“ s pravděpodobností 95%).

Určení výsledné náhodné chyby

Pro funkční závislost mezi výstupní veličinou y a vzájemně nezávislými vstupními veličinami x_i [$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$] a při znalosti náhodných chyb vstupních veličin pro zvolenou pravděpodobnost výsledná náhodná chyba se určí dle vztahu:

$$\varepsilon_{n_y} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot \varepsilon_{n_{x_i}} \right)^2}$$

kde: $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ - parciální derivace funkční závislosti dle nezávislé proměnné x_i
 ε_{n_y} - náhodná chyba veličiny y ,
 $\varepsilon_{n_{x_i}}$ - náhodná chyba nezávislé veličiny x_i .

5.2 Systematická chyba

Chyby systematické vznikají z příčin, které působí soustavně a jednoznačně co do smyslu a velikosti. Působení systematické chyby se dá zjistit změnou měřicích poměrů, např. provedením měření na jiném přístroji, jiným pozorovatelem, za jiných podmínek atd.

Dle poznatelnosti systematické chyby dělíme na:

- Zjistitelné (mají konkrétní znaménko a hodnotu, lze je použít ke korekci naměřené hodnoty).
- Neznámé (nemají konkrétní znaménko, nedají se použít ke korekci naměřené hodnoty, zachází se s nimi jako s chybami náhodnými a zahrnují se do nejistoty měření).

Dle příčin výskytu systematické chyby dělíme na:

- Chyby měřidla (vznikají při výrobě, činnosti a při používání, jsou způsobené nepřesností výroby jednotlivých funkčních elementů, nepřesnosti montáže, změnou pracovních podmínek, zjišťují se kalibrací nebo ověřováním).
- Chyby měřicí metody (hlavní příčiny jsou nesprávná volba měřicí metody, nesprávné umístění měřené součásti na směr měření, vliv přítlačné síly, deformace atd.).
- Chyby osobní (jsou způsobeny osobou, která provádí měření, příčiny – nevědomost, neopatrnost, nepozornost, nedokonalost lidských smyslů atd.).
- Chyby způsobené vlivem prostředí (vlhkost, prašnost, teplota, osvětlení, tlak atd.).

5.3 Hrubé chyby

Příčinou chyb hrubých je nesprávně provedené měření, nesprávný odečet údaje, nesprávný způsob zpracování, vada přístroje, nesprávná manipulace s měřidlem apod. Výsledek měření ovlivněný hrubou chybou je nepoužitelný. Naměřené hodnoty zatížené hrubou chybou se ze souboru naměřených hodnot vylučují a nesmí se v měření pokračovat, pokud nebudou příčiny odstraněny. V některých případech je možno toto provést až po otestování podezřelých naměřených hodnot, a to z důvodu možnosti, že naše rozhodnutí o vyloučení (nevyloučení) podezřelých hodnot ze souboru by mohlo být nesprávné. Testování podezřelých hodnot (hodnot zatížených hrubou chybou) je možno uskutečnit za předpokladu normálního rozdělení hustoty pravděpodobnosti. Postup při testování odlehle hodnoty při neznámé směrodatné odchylce střední hodnotě je následující:

- a) ze souboru naměřených hodnot $x_1 < x_2 < \dots < x_n$ se vypočte aritmetická střední hodnota,

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

Posléze výběrový směrodatná odchylka

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

- b) pro posouzení odlehlosti podezřelých hodnot souboru (x_2, x_n) se vypočtou normované hodnoty H_2, H_n ($x_2 < x, x_n > x$):

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

- c) z tabulek se určí mezní hodnota H pro předem stanovenou pravděpodobnost p a počet měření v souboru n .

Tab. 6 – Mezní hodnoty H pro pravděpodobnost p = 95%.

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

- d) za předpokladu, že $H_2 < H$ a $H_n > H$ hodnota x_2 není zatížena hrubou chybou a ponechá se v souboru, ale hodnota x_n je ovlivněna hrubou chybou a ze souboru naměřených hodnot se vyloučí.

6 Nejistoty měření

Nejistota měření je parametr charakterizující rozsah hodnot okolo výsledku měření, který charakterizuje rozptyl hodnot, které by mohli být důvodně přisuzovány k měřené veličině.

Základní charakteristikou nejistoty je standardní nejistota u , která je vyjádřena hodnotou směrodatné odchylky $S(\bar{x})$, u normálního rozdělení zaručující výsledek s pravděpodobností 68.27%.

V praxi se lze setkat se čtyřmi základními druhy nejistot:

Standardní nejistota typu A: mezi složky nejistoty typu A, patří složky stanovené na základě statistického zpracování opakovaných měření. Složky nejistoty typu A jsou charakterizovány odhady rozptylů a směrodatných odchylek stanovených z opakovaných měření.

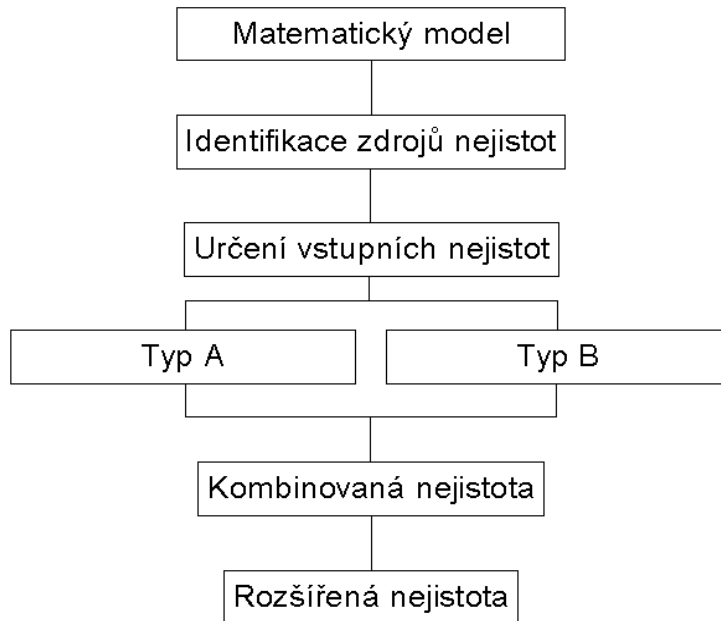
Standardní nejistota typu B: mezi složky nejistoty měření typu B, patří složky stanovené jinými prostředky než statistickým zpracováním opakovaných měření. Složky nejistoty typu B jsou stanoveny z funkce hustoty pravděpodobnosti přisouzené měřené veličině na základě zkušenosti a dostupných informací.

Kombinovaná standardní nejistota: v praxi se jen zřídka vystačí s jedním nebo druhým typem nejistoty samostatně. Pak je zapotřebí stanovit výsledný efekt kombinovaných nejistot měření obou typů, A i B. Výsledná kombinovaná nejistota se potom stanoví podle zákona šíření nejistot.

Rozšířená nejistota: definuje interval okolo výsledku měření, v němž se s určitou požadovanou úrovní konfidence nalézá výsledek měření. Rozšířená nejistota se získá z kombinované standardní nejistoty vynásobením příslušným koeficientem krytí, závislým na požadované úrovni konfidence a na efektivním počtu stupňů volnosti výstupní měřené veličiny.

6.1 Standardní nejistota typu A

Postup stanovení nejistot: Obecný metodický postup pro stanovení nejistot měření lze shrnout do několika kroků, jejichž schematické znázornění je vidět na následujícím obrázku. Tento postup může být přizpůsoben potřebám podle specifik konkrétního řešeného úkolu.



Obr. 5 Schéma určení nejistoty měření

- jsou získané z opakovaných měření,
- jejich hodnota s počtem měření klesá,
- současné technické prostředky umožňují zpracování velkého počtu naměřených hodnot a tím dávají možnost zmenšení velikosti standardní nejistoty typu A,
- při nezávislých naměřených hodnotách se standardní nejistota váže na výběrový průměr a zjistí se výpočtem směrodatné odchylky

Opakovaným měřením veličiny X získáme n údajů x_1, x_2, \dots, x_n . Nejistota typu A se v tomto případě určí jako výběrová směrodatná odchylka výběrového průměru:

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

kde výběrový průměr \bar{x} je:

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

Tyto vztahy platí pro počet opakování měření $n > 10$. Pokud tato podmínka není splněna, je pro výpočet možné použít výsledky stejného měření (stejně veličiny při stejných podmínkách) s větším počtem opakování $N \gg n(x_1', x_2', \dots, x_i', \dots, x_N')$. Potom pro nejistotu typu a platí vztah:

$$u_{Ax} = \sqrt{\frac{1}{n(N-1)} \sum_{i=1}^N (x_i' - \bar{x}')^2} = u_{Ax'} \sqrt{\frac{N}{n}},$$

kde u_{Ax} je rozptyl výběrového průměru \bar{x} vypočítaného z hodnot x_j ($j = 1, \dots, N$).

6.2 Standardní nejistota typu B

1. Vytipování možných zdrojů nejistot typu B Z_1, Z_2, \dots, Z_m :

Zdrojem nejistot při měření jsou nedokonalosti:

- použitých prostředků, především rozsahů, měřících přístrojů a převodníků,
- použitých metod měření,
- podmínek měření, především hodnot ovlivňujících veličiny,
- konstant použitých při vyhodnocování,
- vztahů použitých při vyhodnocování.

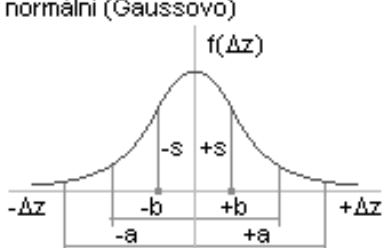
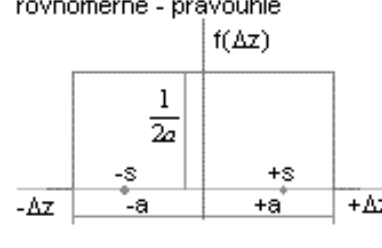
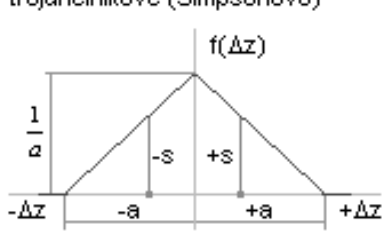
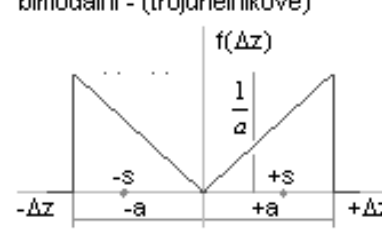
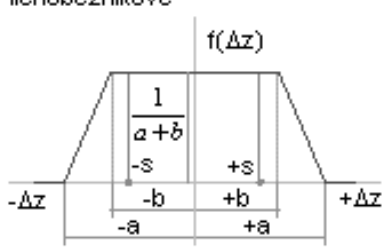
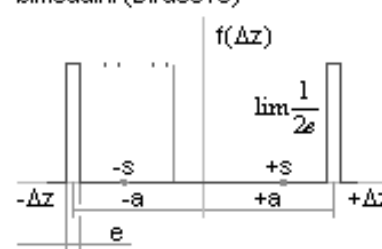
2. Určení standardní nejistoty typu B každého zdroje:

- Převzetím hodnot nejistot z technické dokumentace: certifikace, kalibrační listy, technické normy, údaje výrobců použitých zařízení, technické tabulky, tabulky fyzikálních konstant.
- Odhadem standardní nejistoty: nejprve se odhadne rozsah změn odchylek $\pm z_{max}$ od nominální hodnoty veličiny zdroje nejistoty, jejichž překročení je málo pravděpodobné. Posoudí se průběh pravděpodobnosti odchylek v tomto intervalu a určí se nejvhodnější aproximace. Standardní nejistota typu B spojená s tímto zdrojem se určí ze vztahu:

$$u_{Bz} = \frac{z_{max}}{\chi},$$

kde hodnota χ se převezme z tabulky podle zvolené aproximace. Hodnoty χ odpovídají poměru $\frac{z_{jmax}}{\sigma}$

, kde σ^2 je rozptyl příslušného rozdělení.

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. 6 Druhy rozdělení při určování Standardní nejistoty typu B

1. Přepočít určených nejistot u_{zj} na odpovídající složky nejistoty měřené veličiny: Odhadnuté nejistoty z jednotlivých zdrojů Z_j se přenáší do nejistoty neměřené hodnoty veličiny X a tvoří její složky $u_{x,zj}$, které se vypočítají ze vztahu:

$$u_{x,zj} = A_{x,zj} \cdot u_{zj},$$

kde $A_{x,zj}$ jsou převodové (citlivostní) koeficienty pro které platí vztah:

$$A_{x,zj} = \frac{\partial X}{\partial Z_j}.$$

Pokud není známa závislost $X = f(Z)$, je třeba stanovit koeficienty $A_{x,zj}$ experimentálně změřením hodnoty Δx_{zj} při malé změně Δz_j a dosazením do vztahu:

$$A_{x,zj} \approx \frac{\Delta x_{zj}}{\Delta z_j}.$$

V případě, že u_{zj} je vyjádřené v hodnotách měřené veličiny, bude $A_{x,zj} = 1$.

2. Posouzení možnosti korelací mezi jednotlivými zdroji nejistot a v kladném případě odhad hodnoty hodnot korelačních koeficientů $r_{zj,k}$ z intervalu $\langle -1; +1 \rangle$.

3. Sloučení jednotlivých nejistot do výsledné standardní nejistoty typu B
 Při přímém měření jedné veličiny existuje korelace mezi veličinami Z_j , reprezentujícími zdroje nejistot typu B, výjimečně se může vyskytnout u korelovaných ovlivňujících veličin (např., když ovlivňující veličinou je teplota a relativní vlhkost vzduchu). Proto se při stanovení výsledné standardní nejistoty typu B zpravidla používá Gaussův zákon šíření nejistot:

$$u_{Bx} = \sqrt{\sum_{j=1}^m A_{x,z_j}^2 \cdot u_{z_j}^2}$$

6.3 Kombinovaná nejistota:

Sloučení výsledných nejistot obou typů do kombinované nejistoty se provede pomocí vztahu:

$$u_{Cy} = \sqrt{u_{Ay}^2 + u_{By}^2}$$

kde u_{Ay} je nejistota typu A a u_{By} nejistota typu B.

Rozšířená nejistota:

Rozšířená nejistota měření je dána vztahem:

$$U = k \cdot u_{Cy}$$

Kde: k je koeficient rozšíření a
 u_{Cy} je standardní nejistota měření.

V případech, kdy lze usuzovat na normální (Gaussovo) rozdělení měřené veličiny a kdy standardní nejistota odhadu y je stanovena s dostatečnou spolehlivostí, je třeba použít

standardní koeficient rozšíření $k = 2$. Takto stanovená rozšířená nejistota odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95 %. Tyto podmínky jsou splněny v mnoha případech, se kterými se lze setkat při kalibracích. Předpoklad normálního rozdělení může být v některých případech snadno experimentálně potvrzen. Avšak v případech, kde několik (tj. $N \geq 3$) složek nejistoty odvozených z nezávislých veličin majících rozdělení s běžným průběhem (např. normální nebo rovnoměrné rozdělení) srovnatelně přispívá ke standardní nejistotě odhadu y výstupní veličiny, jsou splněny podmínky Centrální limitní věty, a lze tedy předpokládat, že rozdělení hodnot y je normální.

Spolehlivost standardní nejistoty přiřazené k odhadu hodnoty výstupní veličiny je určena jejími efektivními stupni volnosti. Nicméně kritérium spolehlivosti je dle dokumentu EA-4/02 vždy splněno tehdy, když žádný z příspěvků nejistoty, určený dle postupu pro nejistotu typu A, není stanoven z méně než deseti opakovaných pozorování.

Pokud není ani jedna z těchto podmínek splněna (normalita rozdělení či dostatečná spolehlivost), může vést použití standardního koeficientu rozšíření $k = 2$ k rozšířené hodnotě nejistoty odpovídající pravděpodobnosti pokrytí menší než 95 %. V těchto případech je pak nutné použít jiné postupy tak, aby bylo zajištěno, že uvedená rozšířená nejistota odpovídá stejné pravděpodobnosti pokrytí jako ve

standardním případě. Použití přibližně shodné pravděpodobnosti pokrytí je nezbytné v těch případech, kdy se porovnávají dva výsledky měření stejné veličiny, tj. např. při vyhodnocování mezilaboratorních porovnání nebo při rozhodování o shodě se zadanou hodnotou.

Dokonce i v případech, kdy lze předpokládat normální rozdělení, je možné, že stanovení standardní nejistoty odhadu výstupní veličiny není dostatečně spolehlivé. Pokud není možné zvýšit počet opakovaných měření n nebo místo postupu pro stanovení nejistoty typu A, který vede k nízké spolehlivosti standardní nejistoty, použít postup pro stanovení standardní nejistoty typu B, je třeba použít postup uvedený v následujícím odstavci. Ve zbývajících případech, kdy nelze použít předpokladu normálního rozdělení, je nutné stanovit hodnotu koeficientu rozšíření s ohledem na skutečný tvar rozdělení odhadů hodnot výstupní veličiny tak, aby jeho hodnota odpovídala pravděpodobnosti pokrytí asi 95 %.

Odvození koeficientu rozšíření z efektivního počtu stupňů volnosti

Odhad hodnoty koeficientu rozšíření k odpovídající dané pravděpodobnosti pokrytí vyžaduje respektování spolehlivosti stanovení standardní nejistoty $u(y)$ odhadu y hodnoty výstupní veličiny. To znamená respektování toho, jak dobře $u(y)$ odhaduje směrodatnou odchylku vztahující se k výsledku měření. V případě normálního rozdělení je pro směrodatnou odchylku mírou spolehlivosti efektivní počet stupňů volnosti závisící na velikosti souboru, z kterého je stanovena hodnota směrodatné odchylky. Obdobně je vhodnou mírou spolehlivosti standardní nejistoty vztahující se k odhadu hodnoty výstupní veličiny jeho efektivní počet stupňů volnosti v_{eff} aproximovaný příslušnou kombinací efektivních stupňů volnosti jednotlivých příspěvků k nejistotě $u_i(y)$.

Postup pro stanovení patřičné hodnoty koeficientu rozšíření při splnění podmínek centrální limitní věty se skládá z následujících tří kroků:

1. Stanovení standardní nejistoty vztahující se k odhadu hodnoty výstupní veličiny.
2. Odhadu efektivní stupně volnosti v_{eff} standardní nejistoty $u(y)$ vztahující se k odhadu y hodnoty výstupní veličiny pomocí Welch-Satterthwaitova vztahu:

$$v_{eff} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}},$$

kde $u_i(y)$ ($i = 1, 2, \dots, N$), definovaný vztahem $u_i(y) = c_i u(x_i)$, kde c_i je koeficient citlivosti odpovídající odhadu hodnoty x_i vstupní veličiny, je příspěvek ke standardní nejistotě vztahující se k odhadu y hodnoty výstupní veličiny, který je stanoven ze standardních nejistot vztahujících se k odhadům x_i hodnot vstupních veličin. Tyto vstupní veličiny jsou považovány za vzájemně nezávislé a v_i je efektivní stupeň volnosti hodnoty standardní nejistoty $u_i(y)$.

Pro standardní nejistotu $u(q)$ typu a stanovenou statistickou analýzou série pozorování, je počet stupňů volnosti dán vztahem $v_i = n-1$. Pro standardní nejistotu $u(x_i)$ typu B je určení počtu stupňů volnosti komplikovanější. Běžně se však stanovení provádí tak, aby nedošlo k jakémukoliv

podhodnocení nejistoty. Pokud jsou např. pro hodnotu určité veličiny stanoveny horní a_+ a dolní a_- limity, určují se zpravidla tak, aby pravděpodobnost toho, že hodnota veličiny leží mimo interval daný těmito limity, byla extrémně malá. V tomto případě lze pak počet stupňů volnosti standardní nejistoty $u(x_i)$ považovat za blížící se nekonečnu ($v_i \rightarrow \infty$).

3. Stanovení koeficientu rozšíření k dle tabulky 3.3 uvedené níže. Tato tabulka vychází z t -rozdělení pro pravděpodobnost pokrytí 95.45 %. Pokud v_{eff} není celé číslo, zaokrouhlí se na nejbližší nižší celé číslo.

Tab. 7 Stanovení koeficientu rozšíření k

v_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	$\rightarrow \infty$
k	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,28	2,13	2,05	2,00

6.4 Vyjádření výsledku měření

Vyjádření výsledku měření Při vyjadřování výsledku měření je nutno uvádět nejistotu na dvě platné číslice. Celý výpočet nejistoty se musí provést s nezaokrouhlenými hodnotami, až pak se provádí zaokrouhlení (dle normy ČSN 01 1010).

Při konečném zaokrouhlení výběrového průměru z naměřených hodnot postupujeme tak, že zaokrouhlená číslice má být řádově shodná s druhou platnou číslicí nejistoty. Tedy ve výsledku měření se uvádí výběrový průměr jako nejpravděpodobnější hodnota výsledku měření jen na tolik míst, aby jeho číslice nejnižšího řádu měla týž řád jako číslice nejnižšího řádu nejistoty měření při stejné jednotce metrologické veličiny.

Výsledek měření píšeme v následující podobě. Nejprve uvedeme značku veličiny, jíž se další údaje týkají, dále zpravidla píšeme rovnítko, pak výslednou hodnotu a za znaménkem \pm nejistotu. Pokud má vyjádřená veličina jednotku, připojíme jednotku. Např.: $L = 58,65\text{mm} \pm 0,12\text{mm}$ nebo $L = (58,65 \pm 0,12)\text{mm}$ (vynechání závorky u druhého případu není správné)

Zaokrouhlování výsledků

1. Je-li zaokrouhlovaná číslice větší než 5, ponechaná číslice přibližného čísla se zvětší o jednotku (zaokrouhlení nahoru), např. 4,026 zaokrouhleno na 3 platná místa je 4,03.
2. Je-li zaokrouhlovaná číslice menší než 5, ponechaná číslice se nemění (zaokrouhlení dolů).
3. Je-li zaokrouhlovanou číslicí 5 a za ní následuje jakákoliv číslice odlišná od nuly, zaokrouhluje se nahoru, např. $6,02252 \cdot 10^{23}$ se zaokrouhlí na 4 platná čísla jako $6,023 \cdot 10^{23}$.
4. Je-li zaokrouhlovanou číslicí 5 a za ní následují nuly, zaokrouhluje se tak, aby poslední číslo bylo sudé, např. 8,2150 bude po zaokrouhlení na 3 platná místa 8,22.

7 Principy měřidel – mechanický, optický, elektrický, pneumatický

Měřidla je možno obecně rozdělit dle různých kriterií např.: dle zákona č. 119 /2000 Sb. – o metrologii:

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

Zařazení 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 úchylky.

Zařazení dle principu měření na měřidla s převodem:

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

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

- dotyková,
- bezdotyková.

Zařazení dle účelu na měřidla pro měření:

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

Zařazení dle počtu měřených souřadnic:

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

7.1 Měřidla s převodem mechanickým

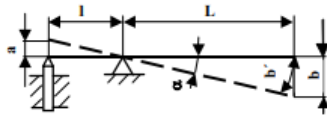
V konstrukci měřidel se nejčastěji setkáváme s těmito mechanickými převody:

- pákový,
- pružinový (torzní),
- ozubenými koly,
- kombinací základních.

Měřidla s pákovým převodem

- konstrukce je založena na principu dvojramenné páky (základní princip obr. xx),
- rameno L přenáší ve zvětšení pohyb měřícího dotyku na stupnici,
- převod měřidla:

$$p = \frac{b}{a} = \frac{L}{l}$$

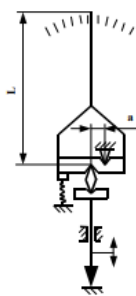


Obr. 7 Princip pákového převodu

- při pákovém převodu se dopouštíme chyby $f = b' - b$ (neodečítáme hodnotu na kruhové stupnici). Úpravou stupnice je možno tento vliv snížit (nerovnoměrná stupnice),
- výhodou těchto přístrojů je:
 - jednoduchá konstrukce,
 - nízká cena,
 - lehké a rychlé měření,
 - používají se pro hrubší měření.

Minimetr (páka s hrotovým uložením)

- podstatou minimetru je dvojramenná páka, uložená na hrotech, s velkým převodem (obr.xx),
- kratší rameno tvoří vzdálenost hrotů,
- delší rameno tvoří délka ručičky až ke spodnímu hrotu,
- u nejpřesnějších minimetrů je poměr ramen $a:L = 1:1000$,
- minimetr je porovnávací měřidlo.



Obr. 8 Schéma minimetru

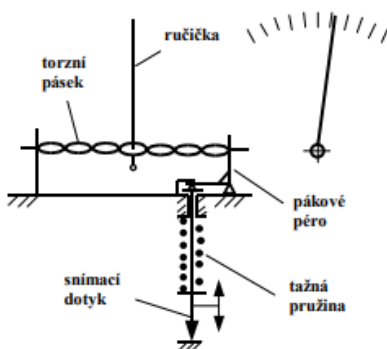
7.2 Měřidla s převodem pružinovým

Základní princip:

- přístroje jsou založeny na deformaci pružin,
- rozměry se odměřují tak, že se zjistí deformace pružiny, která nastane stlačením při měření součásti,
- tohoto principu využívají mikrokátory,
- vyznačují se velkou přesností,
- maximální chyba nepřesáhne 1% hodnot ukazování,
- pracují bez rozdílů ukazování při změně směru měření.

Princip měřidla je zobrazený (obr.xx):

- hlavní částí je oboustranně vinutý torzní pásek, (plochá pružina) v jehož středu je připevněna velmi jemná ručička,
- pružina je z poloviny pravotočivá, druhá polovina je levotočivá, – pokud se takto svinutá pružina na koncích připevní a napíná se, její střední část, ve které je upevněna ručička se bude otáčet kolem své podélné osy,
- při uvolnění pružiny (ovládané od snímacího dotyku) její otočení kolem osy bude opačné,
- pohybuje-li se dotyk při měření nahoru, tlačí na vrchní část pákového péra, pásek se napíná a naklání se ručička.



Obr. 9 Schéma měřidla s převodem pružinovým

- převod tohoto mechanismu je tvořen tažnou pružinou, torzním páskem s ručičkou a regulačním (stavitelným) pérem, který slouží jako regulační element,

- převod ploché pružiny závisí na průřezu torzního pásku, počtu závitů a délce lomené páky, na které je upevněn jeden konec ploché pružiny,
- celkový převod je funkcí jednotlivých dílčích převodů:

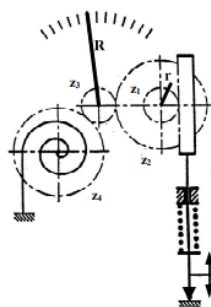
$$p = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}{g}$$

Kde: k_1 - převod tažné pružiny, k_2 - převod ploché pružiny, k_3 - převod ručičkového ukazatele, g - výchylka regulačního péra pro vychýlení ručičky o 1° .

7.3 Měřidla s převody ozubenými koly a segmenty

Základní princip:

- hlavním představitelem této skupiny jsou číselníkové úchylkoměry (princip obr.xx),
- pohyb snímacího dotyku se přenáší ozubenou tyčí a dvojitým ozubeným převodem nebo vřetenem a šnekem na číselník,
- převodový mechanismus dovoluje velký měřicí rozsah:
 - 3 mm nebo 10 mm pro setinové úchylkoměry,
 - 1 mm pro tisícinové úchylkoměry,
- měřicí síla: cca 0,5 až 1,5 N,
- ke stlačení dotyku je potřebná síla, která překoná sílu pružiny úchylkoměru a sílu způsobenou třením, při vysouvání dotyku jde o sílu rovnou rozdílu síly pružiny a síly způsobené třením,
- při změně pohybu měřicího dotyku (např. kontrola házení) se mění měřicí síla o dvojnásobek síly způsobené třením.(vzniká nevratnost-reverzibilita), proto je třeba měřicí dotyk před jednotlivým měřením nadzvednout a pozvolna spustit.



Obr. 10 Schéma číselníkového úchylkoměru

Tab. 8 Dovolené chyby číselníkových úchylkoměrů

Hodnota dělení	Třída přesnosti	Reverzibilita [μm]	Chyba v měřícím rozsahu [μm]			
			0,1 mm	1 mm	3 mm	10 mm
0,01	I	3	5	-	10	15
0,01	II	5	8	-	15	20
0,001	III	1,6	2	4	-	-

- číselníkové úchylkoměry se kontrolují pomocí koncových měrek, kdy se porovnává hodnota čtení na stupnici úchylkoměru s rozměrem koncové měrky a to v obou směrech (dovolené chyby číselníkových úchylkoměrů viz tab. xx),
- pro rychlou kalibraci se používají speciální přístroje.

7.4 Měřidla s převodem opticko- mechanickým

U měřidel s opticko-mechanickým převodem se přenos pohybu snímacího doteku na stupnici realizuje společným působením mechanických prvků (páky) a optických prvků (soustava čoček, hranolů, zrcátek, zdrojů světla). Využívá se vlastnosti objektivu a výkyvného zrcátka. Potřebného zvětšení se dosahuje opakovaným odrazem na zrcadlech.

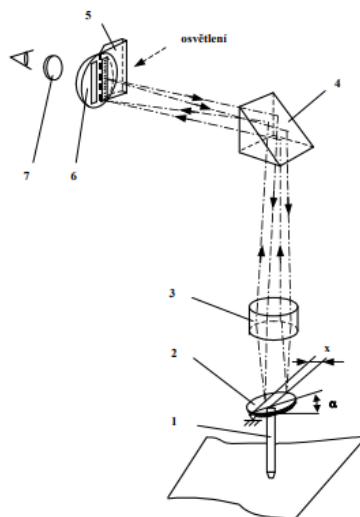
Princip optimetru (obr. xx): Je založen na odrazu světelných paprsků od zrcadla nakláněného měřícím dotykem. Axiálně přesuvný měřící dotyk naklápí otočné zrcátko, kde světelné paprsky procházejí od zdroje světla a procházejí přes skleněnou destičku s vyrytým převráceným obrazem stupnice. Po odrazu prochází paprsky hranolem, objektivem a dopadají na zrcátko, od kterého se odráží a procházejí přes objektiv a hranol zpět na pevnou destičku s pevnou čárkovou značkou. Obraz stupnice oproti pevné čárce je možno sledovat okulárem nebo u projekčních optimetrů na matnici.

Parametre:

- měřící síla je přibližně 1,2 N,
- rozsah optimetru: $\pm 20\mu\text{m}$ nebo $\pm 100\mu\text{m}$,
- dělení stupnice: $1\mu\text{m}$ nebo $0,2\mu\text{m}$, popř. $0,1\mu\text{m}$,
- nejistota měření se určí dle vztahu:

$$u = \pm \left(0,2 + \frac{L}{100} \right) \quad [\mu\text{m}]$$

- Kde: L – měřená délka v [mm].



Obr. 11 Schéma optimetru

Využití: Pro komparační (porovnávací) měření – kontrola koncových měrek, kontrola kalibrů apod.

7.5 Měřidla s převody elektrickými

Snímače s převody elektrickými se měřená odchylka mění v elektrickou veličinu, která se po zesílení převádí v údaj na stupnici, signál popř. v záznam na registrační papír. Přístroje s převody elektrickými se vyznačují poměrně vysokou přesností a jednoduchostí.

Využití:

- pro přesná měření v laboratorních i dílenských podmínkách,
- ve více rozměrových přípravcích, sledovacích měřidlech a pod.,
- v regulačních obvodech,
- v třídících systémech atd.

Základní rozdělení:

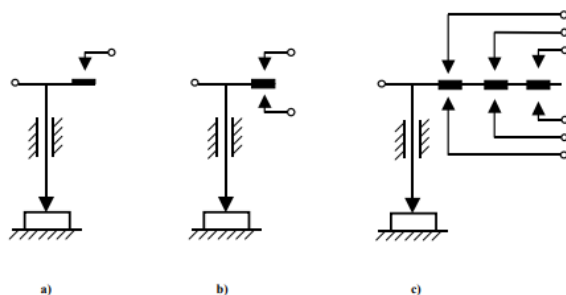
- elektrokontaktní,
- indukční,
- kapacitní,
- fotoelektrické.

7.6 Elektrokontaktní snímače

Slouží k rozměrové kontrole v sériové, popř. hromadné výrobě. Pracuje se s nimi jako s mezními měřidly, zjišťujeme zda rozměr měřené součásti leží ve stanovených tolerančních mezích.

Princip: je založen na rozsvěcování světél určité barvy v případě, že rozměr součásti překročí některou s předem nastavených tolerančních mezí, tak je mimo tolerance – Nastavování se dělá za pomoci

koncových měrek a nastaví se polohy stavitelných kontaktů, tj. příslušná tolerance rozměru, které mohou vymezovat jednu mez, dvě meze i více mezí. Schéma je na obr.ccw.

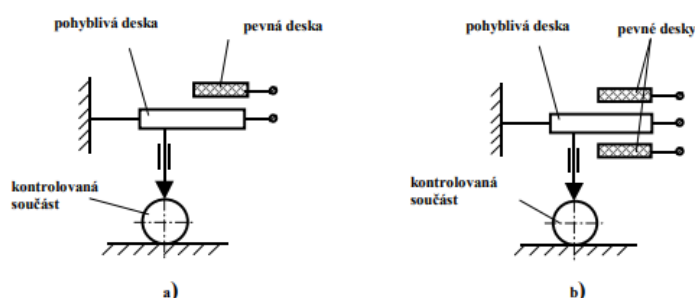


Obr. 12 Schéma elektrokontaktních snímačů a – vymezující jednu mez, b – vymezující dvě meze, c – vymezující více mezí.

7.7 Kapacitní přístroje

základem je kapacitní snímací hlavice a elektronický zesilovač.

Princip měření: spočívá ve změně kapacity kondenzátoru, způsobené změnou měřené délky, kde kapacitní způsob může být dotykový nebo bezdotykový. Kapacitní snímače mohou být jednoduché (jedna pevná a jedna pohyblivá deska) nebo diferenciální (dvě pevné desky a jedna pohyblivá – zvětšení citlivosti), schéma je na obr.aaa.



Obr. 13 Schéma kapacitních snímačů a – jednoduchý, b – diferenciální

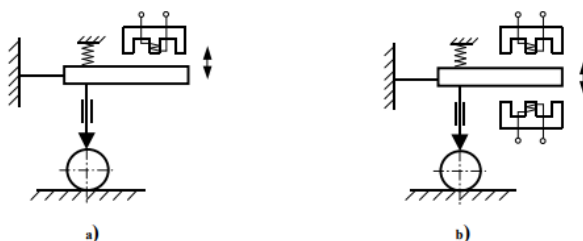
7.8 Indukční přístroje

Patří mezi nejčastěji využívané elektrické měřicí přístroje. Podstatou měření je skutečnost, že změna rozměru mění indukčnost cívky nebo soustavy cívek.

Rozdělení viz obr. Xxs:

- **Jednoduché:**
 - mají jednu cívku o indukčnosti L ,
 - při zvětšení rozměru součásti měřící dotek překoná odpor pružiny a dojde k posunutí kotvy což způsobí změnu indukčnosti L mezi cívkou a kotvou,
- **Diferenciální:**
 - mají dvě cívky o indukčnostech L_1 a L_2 ,

- vychýlením kotvy se zmenší mezera mezi jednou cívkou a kotvou a mezera druhá se zvětší,
- tím dojde ke změně indukčnosti obou cívek, což dovoluje zvětšit citlivost systému,
- přiblížením kotvy k některé cívce, změní se indukčnost v cívkách magnetu, poruší se rovnováha a ručička elektrického přístroje se vychýlí.



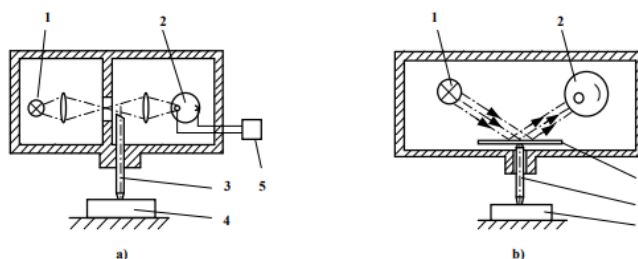
Obr. 14 Schéma indukčních snímačů a – jednoduchý, b – diferenciální.

7.9 Fotoelektrické přístroje

Jsou založeny na fotoelektrickém jevu. Základ tvoří fotobuňka - elektronka zvláštního druhu (katoda z materiálu citlivého na světlo).

Podstata fotoelektrického jevu:

určité látky vlivem působení fotonů - světelných kvant vysílají elektrony, – intenzita vysílání závisí na energii světla a charakteristice elektronky, – měřená veličina se převádí buď na jas zářící plochy nebo při stálém jasu na její velikost, pohyblivá deska pevné desky kontrolovaná součástí pohyblivá deska pevná deska kontrolovaná součástí a) b) a) b) 39 – ke změně jasu se může použít optického šedého klínu, – přístroje vybavené fotobuňkou slouží často k měření bez dotyku (mohou měřit součásti, které se pohybují, což se využívá u třídících automatů), – schémata dvou typů fotoelektrických snímačů viz obr. Xxl.



Obr. 15 Schémata fotoelektrických snímačů: a – clonkový typ, b – zrcátkový typ

7.10 Měřidla s převody pneumatickými

U pneumatických snímačů změna rozměru způsobí změnu parametrů stlačeného vzduchu a to buď tlaku nebo průtočného množství popř. rychlosti.

Rozlišují se snímače:

- tlakové,
- průtočné,
- rychlostní.

Základní prvky pneumatických systémů (parametre):

- zdroj stlačeného vzduchu o tlaku do 0,6 MPa (kompresor, centrální rozvod, tlaková láhev),
- regulátor tlaku – regulace tlaku vzduchu ze zdroje na pracovní tlak a jeho udržení:
 - nízkotlaké – mokré, pracovní tlak < 0,15 MPa,
 - vysokotlaké – suché, pracovní tlak > 0,15 MPa,
- pneumatické měřidlo, např. rotametr.

7.11 Tlakové pneumatické přístroje

Nejčastěji se používají. Při měření se sleduje změna tlaku stlačeného vzduchu. Tlak se nejčastěji měří manometrem, který je ocejchován v délkových jednotkách.

Princip: tlakového pneumatického měřidla je zobrazený na obr. Xx.

- stlačený vzduch o konstantním tlaku p_1 vstupuje do komory průřezem S_1 , a z komory vystupuje průřezem S_2 a naráží na povrch měřené součásti vzdálené od výstupní dýzy o hodnotu z . Zjišťuje se změna tlaku p_2 v tlakové komoře, která je vyvolaná změnou vzdálenosti z dýzy od měřené součásti.
- Za předpokladu, že $S_1 \cong S_2$ platí:

$$p_2 = \frac{p_1}{1 + \frac{S_2}{S_1}}$$

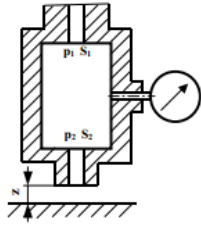
Kde: S_1 – průřez vstupní dýzy,

$$S_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$$

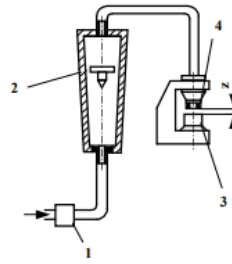
$$S_2 = \pi d_2 z = \frac{\pi d_2^2}{4}$$

7.11.1 Průtočné pneumatické přístroje

Průtočné pneumatické přístroje: mají pružinový regulátor pro regulaci konstantního vstupního tlaku vzduchu, kde změna průtočného množství vzduchu se určuje podle výšky plováku, který rotuje v kuželové skleněné trubici. Plovák se ustálí při měření v poloze, která odpovídá okamžitému průtočnému množství, které závisí na vzdálenosti dýzy a měřené součásti. Při předpokladu konstantního tlaku vzduchu a konstantního obvodu dýzy bude platit: $Q=f(z)$, – schéma zobrazení je na obr.xx.



Obr. Xx Princip tlakového přístroje

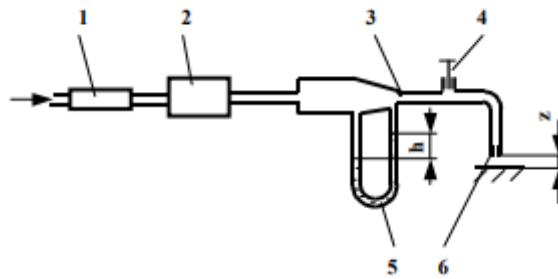


Obr. xxx Princip průtočného přístroje
(1 – regulátor tlaku, 2 – kuželová trubice,
3 – měřená součást, 4 - výstupní).

7.11.2 Rychlostní pneumatické přístroje

Rychlostní pneumatické přístroje viz obr.xx:

Princip: Od průtočných přístrojů výstupní průřez dýzy se udržuje konstantní. V tomto průřezu se měří rychlost vzduchu, která se určuje ve dvou různých příčných průřezech.



Obr. 18 Princip rychlostního přístroje

(1 – filtr vzduchu, 2 – regulátor vzduchu, 3 – Venturiho dýza, 4 – regulační ventil, 5 – diferencíální tlakový manometr, 6 – měřicí dýza)

8 Metrologie délky a měření rovinného úhlu

8.1 Posuvné měřidlo

Posuvné měřidla jsou jednoduché ruční měřidla pro zjišťování délkových rozměrů součástí. Je jimi možné měřit vnější i vnitřní rozměry, hloubky nebo osazení. Standardní posuvné měřidlo pracuje na principu nonia. Princip odečítání měřené hodnoty v mezipolohách využívající nonius vynalezl v roce 1631 francouzský matematik Pierre Vernier.

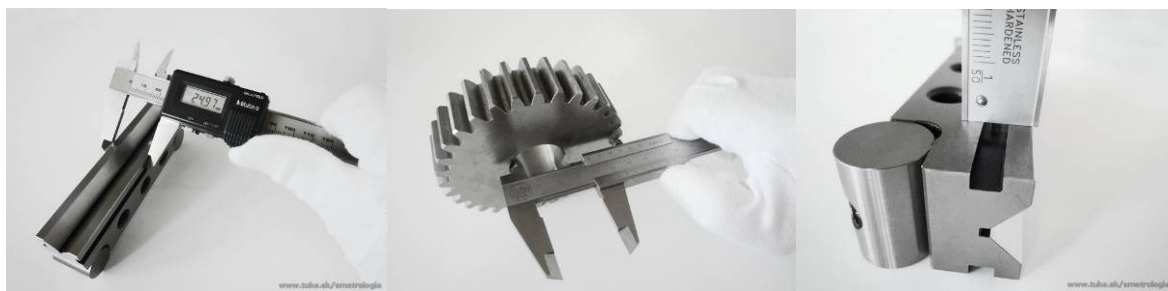
Desetinový (1/10) nonius je stupnice dlouhá 9 mm popř. 19 mm rozdělená na 10 stejných dílků. Poloha počáteční noniové rysky ukazuje na hlavní stupnici počet celých milimetrů a ryska nonia, která je ztotožněná s některou ryskou hlavní stupnice, označuje počet desetin milimetru. Podobné je to při použití nonia s dělením 1/20 nebo 1/50, které se používají nejčastěji. Z toho vyplývá, že posuvné měřidlo s desetinovým noniem má hodnotu nejmenšího dílku 0,1 mm, při dvacetinovém je to 0,05 mm a při padesátinovém 0,02 mm. Tedy například nelze hodnotu 19,88 změřit na posuvném měřidle s dělením 1/20!

Hlavní rozměry a konstrukce posuvných měřidel jsou určeny normami. Rozsah stupnice měřidel bývá převážně v rozmezí od (0-100) mm až po (0-4000) mm. Posuvné měřidlo se skládá z dvou hlavních částí:

- pevné části obdélníkového průřezu s hlavní milimetrovou stupnicí a pevnou čelistí,
- pohyblivé části s čelistí a noniovou stupnicí.

Od osmdesátých let 20. století se začali používat digitální posuvné měřidla (viz obr. 5.2), kde nonius nahradil inkrementální snímač a číslcový displej (nejčastěji s rozlišením 0,01 mm).

Posuvná měřidla se zpravidla vyrábí z nelegovaných nebo nerezavějících ocelí. Čelisti jsou tvrzené. Tolerance rovinnosti a přímosti dosahuje 10 μm , rovnoběžnost je v toleranci 15 μm . Na kalibraci se používají koncové měřky.

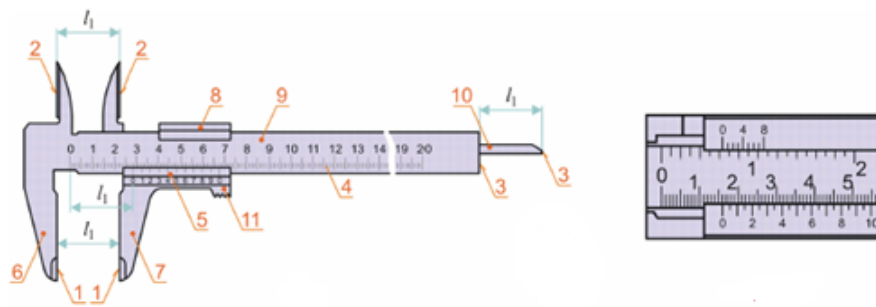


a)

b)

c)

Obr.19 Měření vnějšího rozměru (a), vnitřního rozměru (b) a hloubky (c)



a)

b)

a) všeobecné schéma měřidla, b) zvětšený nonius

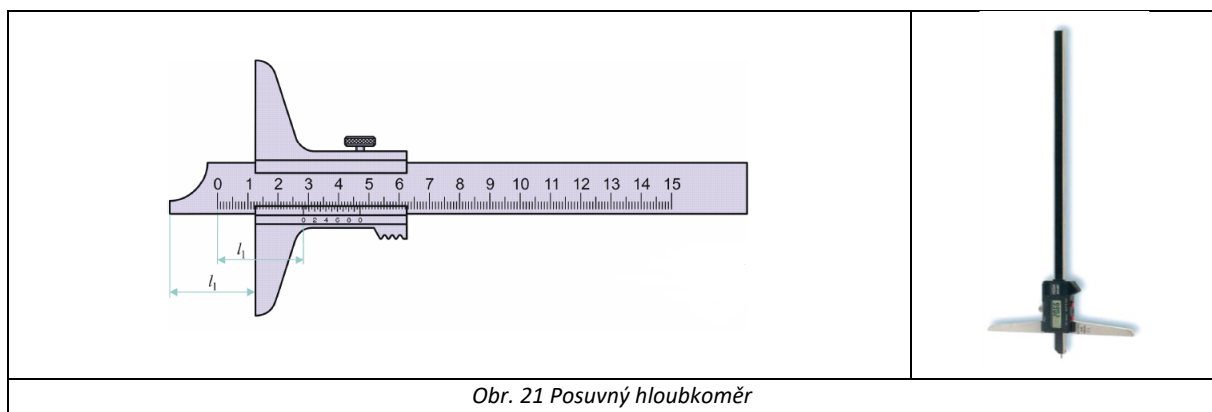
Obr. 20 Univerzální posuvné měřidlo

1 – měřicí plochy pro vnější rozměry, 2 – nožové plochy pro vnitřní rozměry,
 3 – měřicí plochy pro měření hloubky, 4 – hlavní stupnice, 5 – nonius, 6 – pevné měřicí rameno, 7 – pohyblivé měřicí rameno,
 8 – posuvná část, 9 – příložník, 10 – tyčka na měření hloubek, 11 – zajištění proti pohybu [Technické meranie, modul 12]

8.2 Hloubkoměr a výškoměr

Výškoměry a hloubkoměry jsou délková měřidla speciálně určená na měření výšky nebo hloubky drážek součástí. V provedení s noniovou stupnicí se odečítá stejně jako na posuvném měřidle, rozdíl je jen v konstrukci. Výškoměr má základní desku, na které je upevněno pevné měřidlo s milimetrovou stupnicí. Na tomto měřidle se pohybuje posuvná část, která je potřeba ramenem na měření výšky. Používají se také výškoměry s rameny upravenými jako hroty na orýsování, tzv. nádrhy. Hloubkoměry plní podobnou funkci jako tyčka na měření otvorů a drážek na posuvném měřidle.

I výškoměry samozřejmě existují v digitálním provedení. Výhodou je jednoduché odčítání hodnot, nulování stupnice v libovolné poloze, propojení s PC a sběr naměřených dat.



Obr. 21 Posuvný hloubkoměr

8.3 Mikrometry

Mikrometrická měřidla jsou měřidla, která využívají přesný šroub s malým stoupáním, tzv. mikrometrický šroub, který polohuje měřicí doteky. Díky tomuto principu, je mikrometrické měřidlo

přesnější než posuvné měřidlo. Princip je známý od 17. Století, ale až Francouz Jean Louis Palmer dokázal, že jej lze využít i pro přesná měření rozměrů.

Standardně se vyrábějí mikrometrické šrouby v délkách 25 mm, z důvodu dosažení přesnosti stoupání. Proto jsou mikrometrická měřidla odstupňovaná po 25 mm v rozsazích (0-25 mm), (25-50 mm), (50-75 mm), atd. Existují speciální mikrometrická měřidla až do rozměru 1 metr. Pro přesné nastavení se u mikrometrů nad 25 mm nachází kalibrační váleček.

Mikrometr obsahuje standardně 2 stupnice. Hlavní milimetrovou, která je zpravidla na objímce mikrometru a rotační, která je na obvodě bubínku a je většinou dělená na 50 dílků. Bubínek slouží jako matice a stoupání závitu je 0,5 mm, tzn. že nejmenší dílek měřidla je 0,01 mm. Z toho plyne, že pro posuv o 1 mm, je potřebné otočit bubínkem o 2 otáčky. Pro získání vyšší přesnosti odečítání, může mikrometrické měřidlo obsahovat i nonius.

Většina mikrometrických měřidel obsahuje řehačku, která slouží na vyvození vhodné a stejnoměrné měřicí síly. Při otáčení bubínku bez řehačky může dojít k deformaci měřené součásti mezi dotyky, případně deformaci měřidla, což může mít za následek ovlivnění měření. Řehačka je v podstatě spojka, která při vyvození většího tlaku než je dovolený přeskochí.

Nejběžnějším mikrometrickým měřidlem je třmenový mikrometr na měření vnějších rozměrů (obr. 5.7). Existují však i provedení pro měření vnitřních rozměrů (obr. 5.8). Samozřejmostí jsou mikrometry v digitálním provedení (obr. 5.9) a standardně měří s přesností až 0,001 mm. Mikrometry jsou konstruovány s vysokou tuhostí a jsou tepelně izolovány pro eliminaci vlivu teploty rukou obsluhy.



Mikrometrický hloubkoměr, pracují na stejném principu mikrometrického šroubu, ale jsou určeny pro speciální měření hloubek otvorů a drážek – hloubkoměry nebo velkých otvorů – odpichy. Dodávají se v sadě s vyměnitelnými nástavci, aby bylo možno měřit i velké hloubky/průměry. Mohou být i digitální. Při práci s odpichem je nutné, aby byl odpich v ose měřeného otvoru, což vyžaduje dávku zručnosti metrologa. Jistou alternativou je použití třídotykového mikrometru, který má 3 ramena a zajistí tak správnou polohu v otvoru. Nevýhodou je, že se dodává pouze pro úzký rozsah měřených průměrů.



Obr. 23 Mikrometrický hloubkoměr



Obr. 24 Třídutkový mikrometr (dutinoměr)

8.4 Číselníkové úchylkoměry

Číselníkové úchylkoměry jsou jednoduché měřicí přístroje pro přesné měření malých vzdáleností. Mimo pojmu číselníková úchylkoměr se používají v praxi i pojmy indikátor nebo hovorově „hodinky“. Měřený lineární pohyb je převeden transformačním mechanismem na rotační pohyb ručičky indikátoru. Existují různé typy převodu – ozubený, pákový, pružinový, kombinovaný. Číselníkové úchylkoměry mohou být jednootáčkové, víceotáčkové nebo méně než jednootáčkové.

V dnešní době se používají i digitální úchylkoměry s číslicovým displejem. Moderní digitální úchylkoměry s přenosem dat umožňují rychlé statistické vyhodnocení naměřených dat, což je oproti mechanickým velká výhoda.



Obr. 25 Číselníkový úchylkoměr



Obr. 26 Digitální číselníkový úchylkoměr

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

posouvatelná a proto je možné nastavit relativní nulu ve kterékoliv poloze dotyku. Nejběžněji se můžeme setkat s úchylkoměry s nejmenším dílkem 0,01 mm, vyrábí se však i tisícinové (nejmenší dílem 0,001 mm) a přesnější. Dotyky úchylkoměrů jsou vyměnitelné a lze si vybrat z celé řady tvarů, velikostí a délek. Dotyk se vybírá zpravidla tak, aby byl bodový dotyk s měřenou součástí, a je přitlačován silou, kterou mu uděluje vratná pružina.

8.5 Kalibry

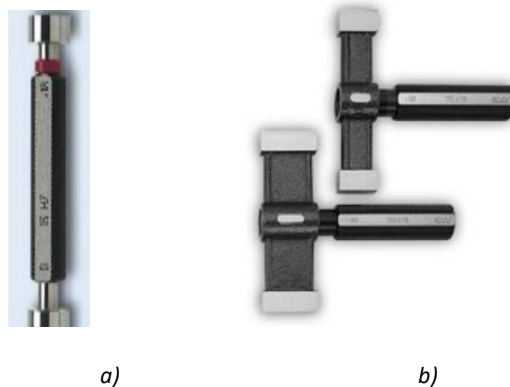
Kalibry nezjišťujeme skutečný rozměr, ani odchylku od jmenovité hodnoty, ale zjišťujeme, zda je kontrolovaná součást dobrá, opravitelná nebo neopravitelná. Kalibry se dělí do 2 skupin:

- *netoleranční* – mají jen jeden tvar, který se porovnává s kontrolovaným kusem,
- *toleranční* – mají dobrou stranu a zmetkovou stranu, které slouží pro kontrolu horního (dolního) mezního rozměru hřídele (díry). Kontrolovaný rozměr leží v tolerančním poli, pokud dobrá strana projde a zmetková neprojde.

V praxi se používají 3 druhy kalibrů:

- *dílenské* – používají se ve výrobě,
- *přebírací* – používají se při přebírání výrobků zákazníkem,
- *porovnávací* – pro kontrolu dílenských a přebíracích kalibrů.

Aby bylo možné rozeznat na první pohled dobrou a zmetkovou stranu kalibru, značí se zmetková strana červenou barvou, popř. se zmetková strana zkracuje nebo se jí sráží hrany.



Obr. 27 Mezní kalibr na vnitřní rozměry – válečkový (a), plochý (b)

Postup při kontrole díry kalibrem:

1) do díry se vsouvá dobrá strana (kontroluje se její dolní mezní rozměr)

a) projde – rozměr je větší jako DMR – OK

b) neprojde – rozměr je menší jako DMR – opravitelný zmetek

2) do otvoru se vsouvá zmetková strana (kontroluje se její horní mezní rozměr)

- a) projde – rozměr je větší jak HMR – neopravitelný zmetek
- b) neprojde – rozměr je menší jako HMR – OK

Při přesném měření je nutné brát na zřetel teplotu okolí, protože ta má velký vliv na výsledek měření. Např. kalibr s rozměrem 100 mm se může při delším držení v ruce prodloužit až o 0,005 mm, což by mohlo negativně ovlivnit měření a zvýšit zmetkovitost. Proto by se měl kalibr držet v ruce jen nevyhnutelný čas pro měření.

8.6 Koncové měrky – Johannsonky

Základné (nebo také koncové) měrky zavedl na konci 19. století Carl Edvard Johansson. Proto se pro koncové měrky používá také pojem Johannsonovy měrky. Základní rovnoměrné nebo úhlové měrky jsou kovové nebo keramické hranoly s garantovaným přesným délkovým nebo úhlovým rozměrem. Základní rovnoběžné měrky mají rovnoběžně lapované plochy s minimálními odchylkami rovnoběžnosti a rovinnosti mezi kterými je garantovaná vzdálenost několika desítek nanometrů (podle třídy přesnosti měrek).

Měrky se vyrábějí v sadách s odstupňovanými rozměry. Na sestavení určitého rozměru se měrky skládají mezi sebou a vzniká tak blok měrek. Měrky se spojují nasouváním jedné měrky na druhou a adhezní síla je díky vysoké rovinnosti a nízké drsnosti udrží při sobě. Spojení dvou měrek dokáže odolat síle až 1000 N. Při sestavování měrek je pravidlem, že se daný rozměr sestavuje z co nejmenšího počtu měrek a měly by být složené pouze na dobu nezbytně nutnou. Oddělují se podobně jako při skládání – obloukovým posouváním vůči sobě. Nikdy se nesmí od sebe „odlepovat“ nebo odklápět od sebe. Může se tím znehodnotit povrch měrky.



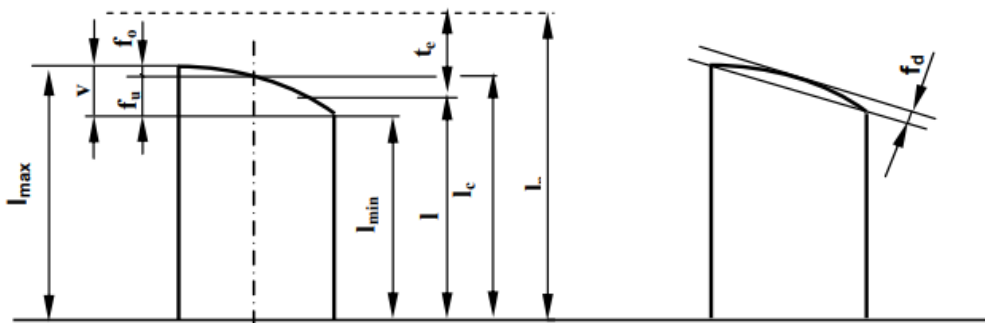
Obrázek 28 Sada koncových měrek

Základní měrky se nejčastěji používají jako etalony délky a pro nastavování a ověřování měřicích prostředků. Při jejich kontrole je nutné dbát na střední délku měrek, rovinnost a rovnoběžnost ploch. Přesnost měrek je rozdělena do 4 kategorií:

K – kalibrační,

- 0 – etalonové,
- 1 – používané jako pracovní měřidlo nebo etalon,
- 2 – dílenské, pro kontrolu posuvných měřidel, mikrometrů nebo komparační měření.

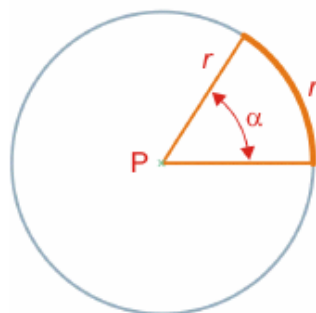
Základními parametry koncových měrek jsou (obr.9.1): délka koncové měrky v libovolném bodě (l) - kolmá vzdálenost zvoleného bodu volné (nenasáté) plochy od rovinné plochy desky, na které je měrka nasátá, středová délka koncové měrky (l_c) - délka kolmice středu volné měřicí plochy měrky na plochu k níž měrka přilnula svou druhou plochou, odchylka délky v libovolném bodě od jmenovité délky (t_e) – algebraický rozdíl $l-l_n$, odchylka rovinnosti (f_d) – nejmenší vzdálenost mezi dvěma rovnoběžnými plochami, mezi kterými leží všechny body měřicí plochy, rozpětí délky (v) – rozdíl mezi největší délkou koncové měrky l_{max} a nejmenší délkou l_{min} (rozpětí délky je rovno součtu odchylek f_o a f_u od střední délky l_c), tvrdost měřicích ploch musí být min. 800 HV nebo 62 HRC, přilnavost – schopnost měřicích ploch měrek přilnout působením molekulárních sil k jiným měřicím plochám nebo na plochy se stejnou úpravou povrchu, koeficient délkové roztažnosti - pro ocel při teplotě $(10\pm 30)^\circ\text{C}$ musí být v rozmezí $(11,5\pm 1)10^{-6}\text{K}^{-1}$, pro jiné materiály musí výrobce hodnotu tohoto koeficientu uvést v dokumentaci.



Obr. 29 Základní parametry koncové měrky

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 tedy 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. 29. Je to jednotkový úhel při měření v obloukové míře. V soustavě SI se radián používá jako doplňková jednotka.



Obr. 30 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 značena 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: $\alpha = (r \cdot 180^\circ) / \pi$

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

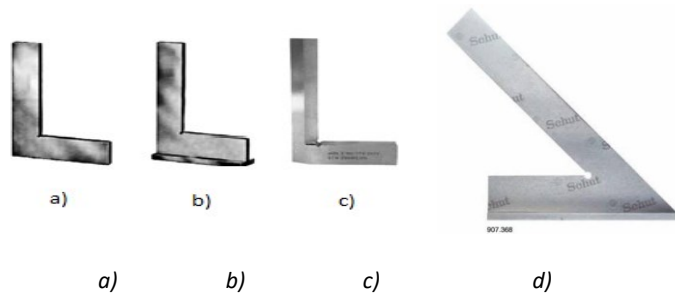
$$1 \text{ rad} = (180^\circ / \pi) \approx 57,296^\circ \approx 57^\circ 17' 45''$$

8.7 Úhelníky

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

Ramena pravouhlých 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. 31- Úhelníky [www.meridla-nastroje.cz]

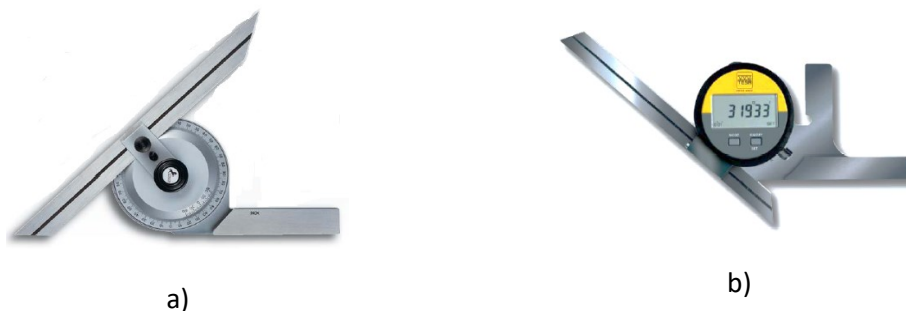
a) plochý, b) příložný, c) nožový d) pod úhlem 45°

8.8 Úhlooměry

Mechanické úhlooměry patří k základnímu vybavení zámečnických dílen. Pro svoji univerzálnost jsou využívány při nastavování a orýsování úhlů. Na běžné měření postačí ploché úhlooměry 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 úhlooměry, kdy se liší odčítáním naměřených výsledků – manuálně nebo digitálně.

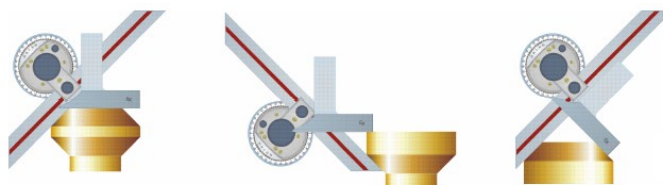
Univerzální úhloměr (viz obr. eee a) má schopnost změřit libovolný úhel s nejistotou menší než 5'. Skládá se z pevného a pohyblivého pravítka. Na pevném rameni je pod pravým úhlem umístěn pevný kotouč, rozdělený 4x po 90° po 1°. Hrany ramena úhlooměru jsou rovnoběžné s nulovými ryskami stupnice na tomto 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. Pohyblivý kotouč se otáčí kolem osy pevného kotouče a po nastavení úhlu se zafixuje maticí. Příklady měření a použití univerzálního úhlooměru jsou na obr. 6.4.

Digitální úhloměr (viz obr. eee b) má na pevném rameni uloženou elektronickou snímací jednotku, která pomocí naklápění umožňuje měření ve stupních a minutách, nebo v desetinné soustavě. Úhly se vyhodnocují třemi způsoby – 4×90°, 2×180° nebo 1×360°, přičemž nejistota měření dosahuje 1,15' nebo 0,01°. Pohyblivé rameno má délku 150, 200, 300 nebo 500 mm. Výhodou digitálního úhlooměru 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. 32 Úhlooměry a) univerzální, b) digitální [http://www.microtes.cz]

Optický úhloměr (viz obr 33), 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).

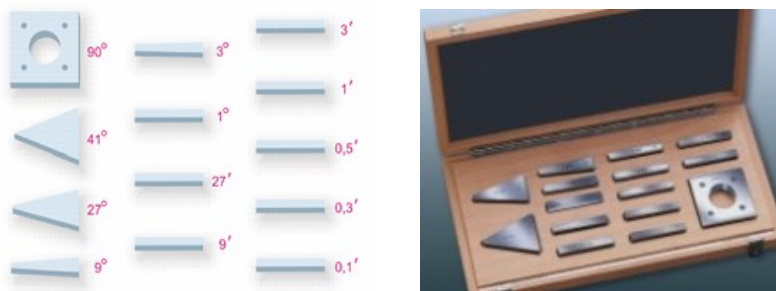


Obr. 33 Příklady měření univerzálním úhloměrem

8.9 Úhlové měrky

Úhlové měrky se nepoužívají jako koncové měrky, ale jako etalony úhlů. Pro vytvoření přesného úhlu se používá spojení koncových měrek a sinusového pravítka. Tam, kde není možné tuto metody využít, se využívá úhlových měrek. Jsou to ploché hranoly s tloušťkou 2 mm a s jedním nebo několika přesně definovanými úhly (viz obr. Aaa)

Technologický postup jejich výroby se v podstatě shoduje s výrobou koncových měrek. Vyrábějí se ze speciálních ocelí a jejich měřicí část obvykle chrání kryt.



Obr. 34 Příklad úhlových měrek

Úhlové měrky jsou broušené, jemně lapované a jejich povrch dosahuje zrcadlového lesku. Mohou se proto využít i jako odrazová plocha na optická měření. Mohou se skládat do požadovaných hodnot úhlů pomocí speciálních držáků. Dodávají se v sadách v různých počtech a v odstupňovaných hodnotách. Chyba dvou spojených měrek nepřesahuje $\pm 24''$. Vyrábějí se v různých třídách přesnosti.

8.10 Vodováhy

Nejjednodušším způsobem měření vodorovnosti je použití dvou spojených trubic s kapalinou uvnitř. Tento způsob je využívá často ve stavebnictví. Ve strojírenské praxi se využívá buď zakřivených nádoby (tzv. U trubice) nebo častěji vodováhy (libely), viz obr. 35. Existuje celá řada typů vodovah určených pro různé aplikace a s různou přesností.

Nejčastěji jsou vodováhy vyrobené s jednou trubičkou naplněnou kapalinou a vzduchovou bublinou uvnitř. Pro měření vodorovnosti ve dvou kolmých směrech se využívají vodováhy křížové, které mají 2 navzájem kolmé trubičky. Rámová vodováha je tvořena robustním pravoúhlým rámem, čímž umožňuje

měřit nejen vodorovnou polohu, ale i polohu svislou. Často je opatřena prizmatickými plochami pro lehčí měření např. válcových součástí.

Značky na trubici pomáhají s odčítáním hodnoty sklonu vůči vodorovné poloze.



Obr. 35 Typy vodovah

Vyrábějí se i vodováhy optické, u kterých se odčítá hodnota v okuláru nebo digitální (obr. 36).



Obr. 36 Digitální vodováha

8.11 Sinusové pravítko

Sinusové pravítko 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 naklonění obráběného materiálu při výrobě. Dále se mohou využít pro kontrolu přesnosti úhломěrných 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. 37 Sinusové pravítka

8.12 Profilprojektory

Profilprojektor (obr. 379) 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 obrazec plochy součásti. Při kombinaci obou metod můžeme vidět obrys i povrch součásti současně.



Obr. 39 Profilprojektor

9 Kuželové plochy a jejich kontrola

Ve strojírenství se setkáme s kuželovými plochami, např. u kuželových upínacích stopek nástrojů (frézy, vrtáky, výhrubníky, výstružníky), kuželové dutiny pinoly popř. hlavního vřetene stroje, kuželové díry pro zapalování součástí, kuželové kolíky, kuželové upínací trny, uzavírací kohouty apod.

Kuželové plochy umožňují dosednutí ploch (se spojení součástí nevznikne vůle).

9.1 Kuželová plocha

Kuželovitost je daná poměrem, který udává o kolik se změní průměr základny na určité délce.

- vyjádřená jako poměr 1 : X nebo např.: 1 : 10 (tzv. že na délce 10 mm se zmenší průměr o 1 mm).

$$k = \frac{D-d}{L} = \operatorname{tg} \alpha$$

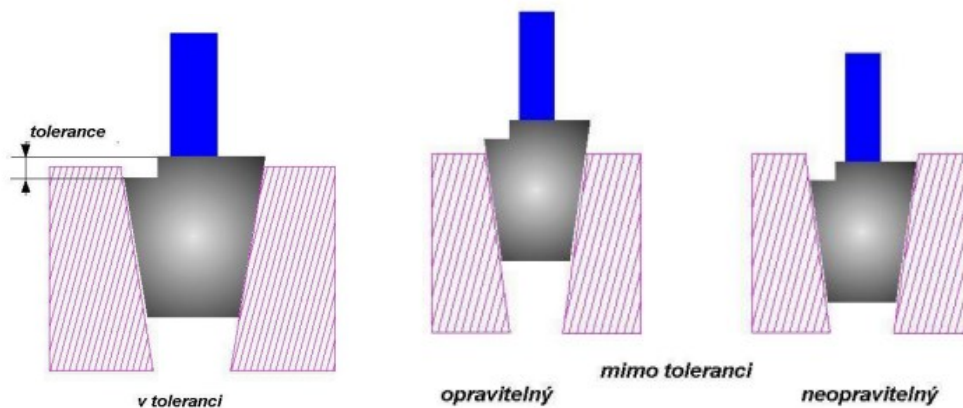
Kde: D – velký průměr,

d – malý průměr,

L – délka kuželové plochy.

Kontrola kuželovitosti se provádí:

- úhlovými měrkami,
- kuželovým kalibrem.



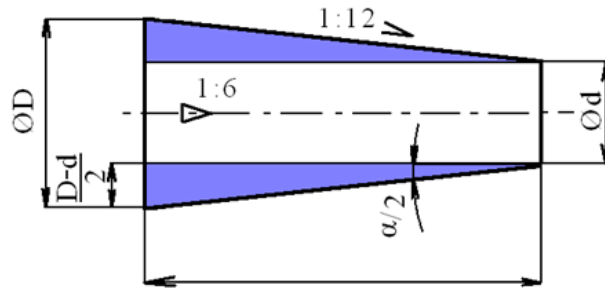
Obr. 40 Kontrola kuželovým kalibrem

Kuželový kalibr by mělo být možné vsunout do díry po rysku, neměl by ovšem být zasunut nad horní hranu kuželové plochy, viz. obrázek.

Sklon: u kuželů je rovný polovině kuželovitosti a u plochy nebo přímky je definovaný jako poměr, v jakém se změnila výška jedné strany vůči druhé na určité délce, je to vlastně tangenta úhlu $\alpha/2$, kde α je vrcholový úhel kuželové plochy.

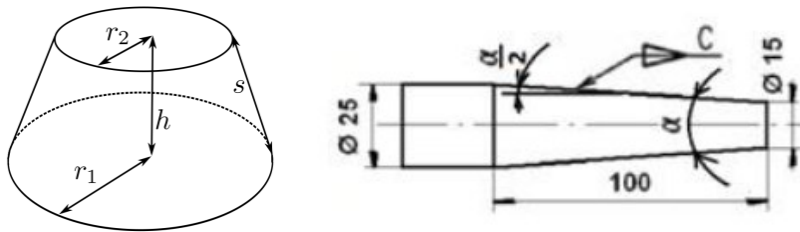
- Např.: 1 : 20 znamená, že na délce 20 mm se velikost jedné strany vůči druhé změní o 1 mm.

$$s = \frac{k}{2} = \frac{D-d}{2L} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$



Obr. 41 Kuželová plocha vnější a vnitřní

Vrcholový uhel α – svírají dvě protilehlé strany.



Obr. 42 Komolý kužel

Tolerování kuželových ploch

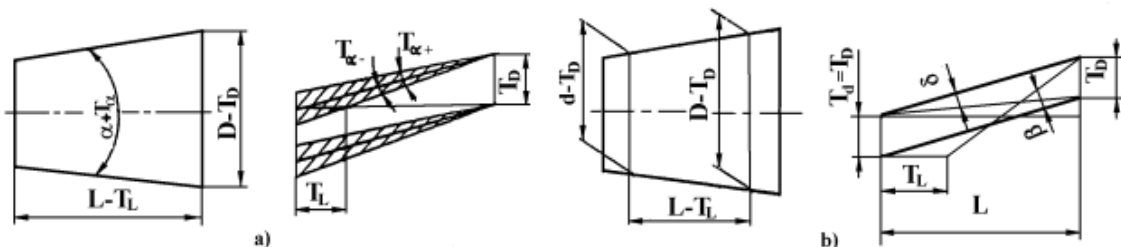
Při tolerování kuželových ploch je nutné uvažovat všechny geometrické veličiny, kterými může být kužel zadán.

Kuželová plocha může být zadána:

- průměrem D , délkou L , vrcholovým úhlem α (obr. Xx a) - úhlová tolerance není závislá na průměru a délce,
- dvěma průměry D , d a jejich vzájemnou vzdáleností L (obr.xx b) – úhlová tolerance je závislá na tolerancích průměrů i délky kužele, můžeme získat vrcholový úhel buď o δ menší nebo o β větší.

$$\operatorname{tg} \frac{\delta}{2} = \frac{T_D \cos^2 \frac{\alpha}{2}}{2L - \frac{T_D}{2} \sin \alpha}$$

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{T_D \cos^2 \frac{\alpha}{2} - T_L \sin \alpha}{2L - 2T_L \cos^2 \frac{\alpha}{2} + T_D \sin \alpha}$$



Obr.42 Tolerování kuželů

- Nepřesnost při výrobě vzniká celá řada odchylek, nejdůležitější je odchylka kuželovitosti.

Odchylka kuželovitosti – je definovaná jako rozdíl vrcholového úhlu jmenovitého kužele a vrcholového úhlu kužele skutečného. Lícování kuželových ploch pro tento typ spojení umožňuje regulovat tuhost uložení na základě stupně zasunutí. Stupeň přesnosti lícování kuželů je určen úplnosti vzájemného styku kuželových ploch. Hlavním činitelem je shodnost vrcholových úhlů kuželového otvoru a kuželové části hřídele. Norma ČSN 01 4276 stanovuje tolerance vrcholového úhlu v 17 stupních přesností (AT1÷AT17). Toleranční pole kuželů je vytvořeno dvěma sousými mezními kužely, u nichž je rozdíl mezi největším a nejmenším průměrem v kterémkoli řezu kolmém k ose kužele po celé délce stejný.

Kuželové spojení rozděleno dle způsobu uložení na:

- těsná (smyková uložení),
- hybná (vyznačují se nastavitelností vůle),
- pevná (přesah vzniká vtlačení vnějšího kužele do kuželového otvoru).

Základem toleranční soustavy pro lícování kuželů jsou čtyři druhy tolerancí:

- **tolerance průměrů kužele TD:** je platná pro všechny průměry kuželové plochy po celé délce. Je definujeme ji jako rozdíl největšího a nejmenšího průměru kužele ležícího mezi polohami mezních kuželů a její velikost se stanoví obdobně jako tolerance pro válcové součásti.
- **tolerance vrcholového úhlu:** uvádí se úhlových nebo délkových jednotkách. Definujeme ji jako rozdíl mezi největším a nejmenším úhlem kužele. Tolerance úhlu se může na součásti projevit to jako: odchylka průměru vzniklá z odchylky úhlu na celé délce kužele, nebo jako odchylka vrcholového úhlu kužele.
- **tolerance geometrického tvaru kužele:** je definovaná jako odchylka přesnosti tvořící přímky a odchylka kruhovitosti průřezu.
- **tolerance průřezu řezu kužele:** je daná pro průměr kužele v určitém definovaném řezu, kde tato odchylka platí pouze pro průměr v tomto řezu.

Každá z těchto tolerancí může teoreticky využít celé toleranční pole a prakticky to možno povědět, že všechny uvedené typy tolerancí působí současně, kde se dělí o toleranční prostor.

Kontrola kuželových ploch

Pro volbu metody měření a volbu druhu měřidla volíme dle předepsané přesnosti rozměru. Na základě toho rozlišujeme, zda měříme kužel tolerovaný nebo netolerovaný.

Kontrola kuželů provádíme pro: vrcholový uhel, úhel sklonu nebo přímost kuželové plochy. Délka je kontrolovaná, běžnými délkovými měřidly.

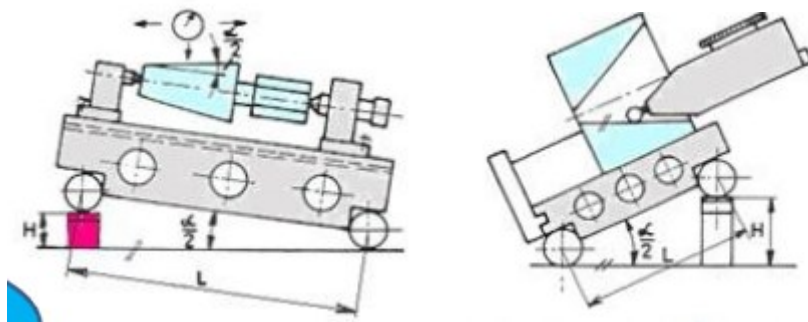
Dělíme kontrolu kuželů:

- vnější kuželové plochy,
- vnitřní plochy.

Druhy metod kontroly kuželů:

- **šablonami** (vyrobí se plochá šablona, která se používá ke kontrole úhlu sklonu nebo vrcholových uhlů, popřípadě přiložením na více míst po obvodu součásti i obalovou plochu, nebo i pro sériovou a hromadnou výrobu součásti u méně přesnými kuželovými plochami).
- **optickým univerzálním úhloměrem** (používá se ke kontrole uhlů sklonu nebo vrcholových uhlů v kusové výrobě součásti u méně přesnými kuželovými plochami)
- **Kalibry**
 - kontrola vnitřních kuželových kalibrů,
 - kontrola vnějších kuželových ploch,
 - kontrola tolerovaného kužele vnitřního.
 - kontrola tolerovaného kužele vnějšího.
- **Sinusovým pravítkem**
 - Sinusové pravítko o rozteči válečků L (mm) položí se jedním válečkem na základní kontrolní desku a pod druhý se vkládají základní koncové měřky o hodnotě H (mm), tak dlouho dokud měřená plocha není rovnoběžná se základnou, což určujeme číselníkovým úchylkoměrem (ručička číselníkového úchylkoměru nesmí mít výchylku, musí být na „0“, tím je uhel nebo rovnoběžnost přesně dodržena).

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{H}{L} \Rightarrow H = \sin \frac{\alpha}{2} \cdot L$$



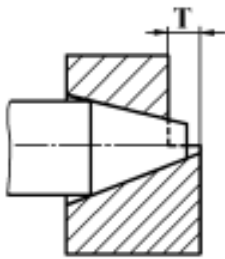
Obr. 44 Kontrola kuželové plochy za pomoci sinusového pravítka

9.2 Kontrola kuželové plochy vnější

Možnosti kontroly:

- kontrola na barvu pomocí vnitřních kuželových kalibrů,
- kontrola pomocí sinusového pravítka,
- kontrola úhloměrem,
- kontrola pomocí válečků stejného (nestejného) průměru,
- kontrola speciálními měřicími přístroji.

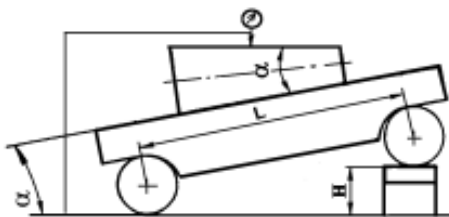
Kontrola na barvu pomoci vnitřních kuželových kalibrů



- kuželový kalibr (kroužek) se potře berlínskou modří a nasune na kontrolovaný kužel a pootočí,
- otisk barvy na kontrolovaném kuželu nám ukáže jeho nepřesnosti oproti kalibru,
- kalibry jsou opatřeny dvěma plochami, které označují toleranční pole T (obr.xx), – odchylku kuželovitosti se touto metodou nedá zjistit

Obr. 45 Vnitřní kuželový kalibr

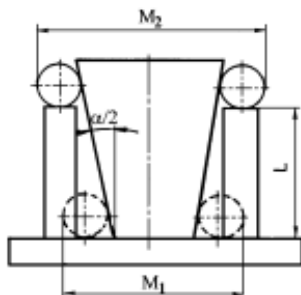
Kontrola pomocí sinusového pravítka



- je možno vyčíslit odchylku vrcholového úhlu,
- pod sinusové pravítko se vkládají koncové měrky až površka kužele je rovnoběžná s průměrnou deskou (kontroluje se číselníkovým úchylkoměrem),
- pak je možno vyčíslit velikost vrcholového úhlu α ,
- platí vztah: $\sin \alpha = \frac{H}{L}$

Obr. 46 Kontrola pomocí sinusového pravítka

Kontrola pomocí válečků stejného průměru



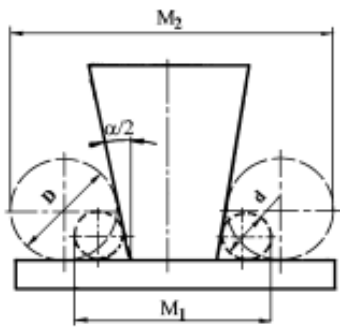
- jde o velmi často používanou metodu,
- z naměřených hodnot rozměrů přes válečky M_1 , M_2 a rozměru použitých měrek L (obr. xx) určíme vrcholový úhel α :

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{M_2 - M_1}{2L}$$

- u tohoto způsobu je nutno počítat s chybou $\pm 30''$.

Obr. 47 Kontrola pomocí stejných válečků

Kontrola vnějšího kužele pomocí válečků nestejného průměru

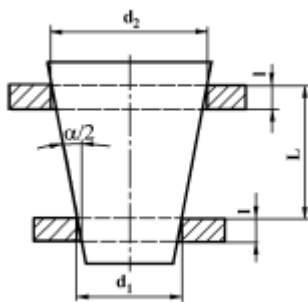


- jde o podobnou metodu jako předchozí,
- velikost vrcholového úhlu α závisí na změřených parametrech D , d , M_1 a M_2 (obr. xx) dle vztahu:

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \frac{2 \left(\frac{M_2 - M_1}{D - d} - 1 \right)}{\left(\frac{M_2 - M_1}{D - d} \right)^2 - 2 \left(\frac{M_2 - M_1}{D - d} - 1 \right)}$$

Obr. 48 Kontrola pomocí nestejných válečků

Kontrola vnějšího kužele pomocí měřících kroužků



- jde o méně přesnou metodu,
- kroužky jsou ocelové, kalené a lapované,
- při měření musí být nasazeny kolmo na osu kužele,
- velikost vrcholového úhlu závisí na průměrech kroužků d_1 , d_2 a vzdálenosti L (obr. xx) dle vztahu:

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2} (d_2 - d_1) \cdot \frac{1}{L}$$

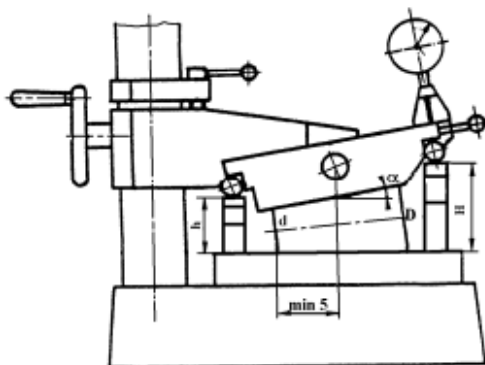
Obr. 49 Kontrola pomocí kroužků

Kontrola úhломěrem

- je možno provádět jen u kuželů méně přesných,
- nejistota měření je poměrně velká.

Kontrola speciálním měřicím přístrojem (fy Feinmess Suhl)

- přístroj je opatřen ramenem, kde na společném čepu je upevněna příložná deska se sinusovým pravítkem, které je možno vyklápat (cca o $\pm 60'$) a podložit příslušnými měrkami (obr. xx),



- vyklonění sinusového pravítka se ukáže na upevněném číselníkovém úhlykoměru,
- posunutí ručičky úhlykoměru o $1 \mu\text{m}$ odpovídá úhlovému vyklopení sinusového pravítka o $2''$,
- sinusové pravítko má vzdálenost válečků 200 mm,
- rozsah použití přístroje pro úhel kužele $0 \div 45^\circ$,
- nejistota měření při nastavení měrkami $\pm 10''$.

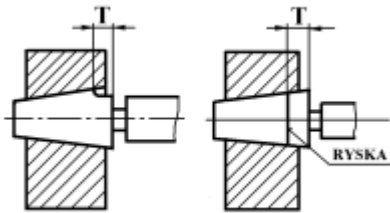
Obr. 50 Měřidlo pro kontrolu klínů a kuželů fy Feinmess Suhl

Kuželové plochy vnitřní

Možnosti kontroly:

- kontrola na barvu pomoci kuželových kalibrů,
- kontrola pomoci sinusového pravítka,
- kontrola pomocí kuliček nestejného průměru.

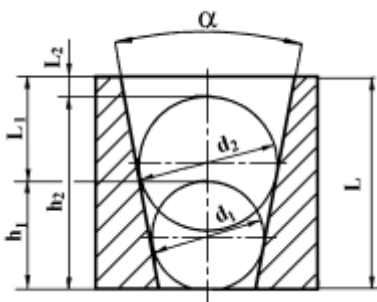
Kontrola na barvu pomoci kuželových kalibrů



- postup je obdobný jako při kontrole kuželových ploch vnějších,
- kalibry jsou opatřeny buď tolerančním stupněm nebo hranou s rýskou (obr. xx),
- nevýhodou je, že nelze kontrolovat průběh kuželovitosti po celé délce.

Obr. 51 Vnější kalibry

Kontrola pomoci kuliček nestejného průměru

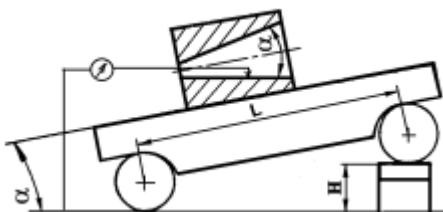


- velikost vrcholového úhlu α se vypočte z naměřených hodnot parametrů d_1 , d_2 , h_1 , h_2 , popř. L_1 a L_2 (obr.xx)

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{\frac{d_2}{2} - \frac{d_1}{2}}{h_2 - h_1 - \frac{d_2}{2} + \frac{d_1}{2}}$$

Obr. 52 Kontrola pomoci kuliček

Kontrola pomoci sinusového pravítka



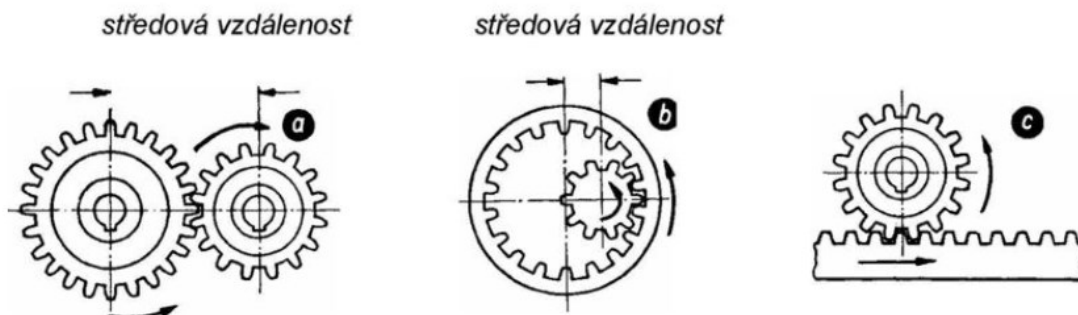
- princip kontroly je obdobný jako při kontrole vrcholového úhle vnějšího kužele (obr.xx)

Obr. 53 Kontrola pomoci sinusového pravítka

10 Ozubená kola

Charakteristika ozubených kol

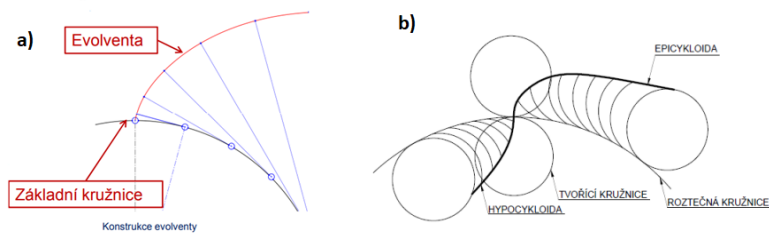
Ozubená kola jsou nejrozšířenější mechanické převodové prvky, které jsou široce využívány ve strojním průmyslu a umožňují přenos pohybu mezi jednotlivými součástmi strojů. Ozubená kola umožňují převést točivý moment a mechanickou energii z jednoho hřídele na druhý. Díky redukci pomáhají zvyšovat výstupní moment nebo mění směr otáčení, jako například u hřídele pohánějícího zadní kola automobilů. Spoluzabírající ozubená kola spolu vytváří soukolí, které může být jednoduché, kdy se převod skládá pouze z jedné dvojice ozubených kol, přičemž menší kolo se zpravidla nazývá pastorek a často bývá hnacím členem soukolí a druhé kolo je nazýváno hnaným členem. Druhou možností je soukolí složené, kdy je v záběru několik dvojic ozubených kol. Kola mohou mít vnější nebo vnitřní ozubení. Zabírající ozubená kola vnějším ozubením se otáčejí v opačných směrech. Naopak ozubená kola s vnitřním ozubením mají stejný smysl otáčení a malou osovou vzdálenost. V případě ozubeného kola zabírajícího s ozubeným hřebenem se mění otáčivý pohyb na pohyb přímočarý ve stejném smyslu.



Obr. 54 a) vnější ozubení (smysl otáčení kol proti sobě), b) vnitřní ozubení (smysl otáčení souhlasně s malou osovou vzdáleností), c) hřeben s ozubeným kolem

Obecně mají tyto převodové mechanismy vysokou spolehlivost, životnost, dobrou mechanickou účinnost a poměrně nízké požadavky na jejich údržbu. Naopak mezi nevýhody ozubených kol lze zařadit například složitou a nákladnou výrobu s vysokou náročností na jejich výrobu a montáž a v neposlední řadě potřeba mazání.

Nejdůležitější částí ozubených kol je tzv. profil zubu. Podle křivky, která tvoří profil zubu (boční křivky) rozeznáváme ozubení evolventní (nejčastěji využívané) nebo ozubení cykloidní. Evolventa je křivka, kterou opiše bod přímky, která se odvaluje po základní kružnici (obr. xx) a boční křivka zubu se skládá ze dvou křivek. Z evolventy, která tvoří bok zubu od základní kružnice po kružnici hlavovou a z trochoidní přechodové křivky, která protíná evolventní křivku na základní kružnici a tečně se napojuje na kružnici patní. Trochoida tedy tvoří plynulý přechod mezi evolventou a patní kružnicí. U cykloidy je tvar zubu vytvořen odvalováním tvořící kružnice po přímce nebo po kružnici vnějšku epicykloidou nebo zevnitř hypocykloidou (obr. 2). Tento tvar zubu umožňuje přenos rotačního pohybu, z jednoho ozubeného kola na druhé, bez lokálních změn úhlové rychlosti.



Obr. 55– Evolventní ozubení (a) a cykloidní ozubení (b)

Ozubená kola lze rozdělit z několika hledisek následovně:

Dle druhu čelní profilové křivky na kola s:

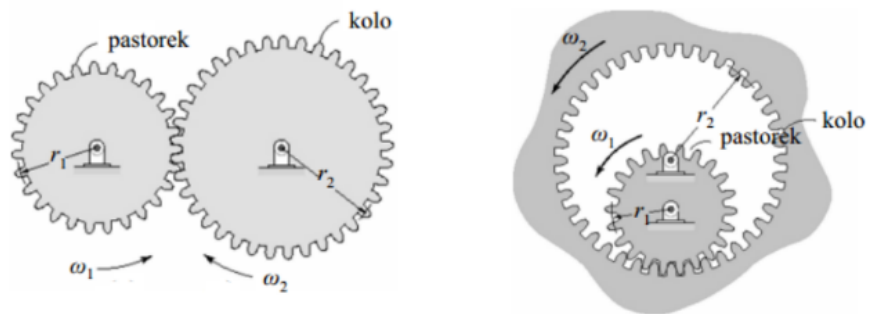
- evolventním ozubením,
- cykloidním ozubením,
- zvláštním ozubením.

Dle vzájemné polohy hlavové a patní plochy:

- kola s vnějším ozubením,
- kola s vnitřním ozubením.

Dle vzájemné polohy spoluzabírajících kol:

- soukolí s vnějším záběrem,
- soukolí s vnitřním záběrem.



Obr. 56 Soukolí s vnějším ozubením vlevo a soukolí s vnitřním ozubením vpravo

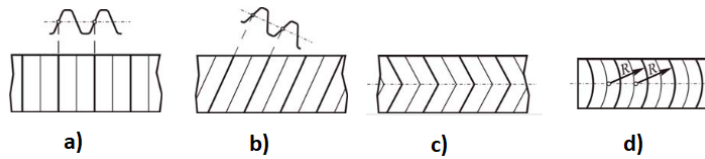
Dle vzájemné polohy os hřídelů:

- hřídele rovnoběžné,
- hřídele různoběžné,
- hřídele mimoběžné.

Dle tvaru boků zubů:

- kola s přímými zuby (a),
- kola s šikmými zuby (b),
- kola s dvojitě šikmými (šípovými) zuby (c),
- kola s kruhovými zuby (d),

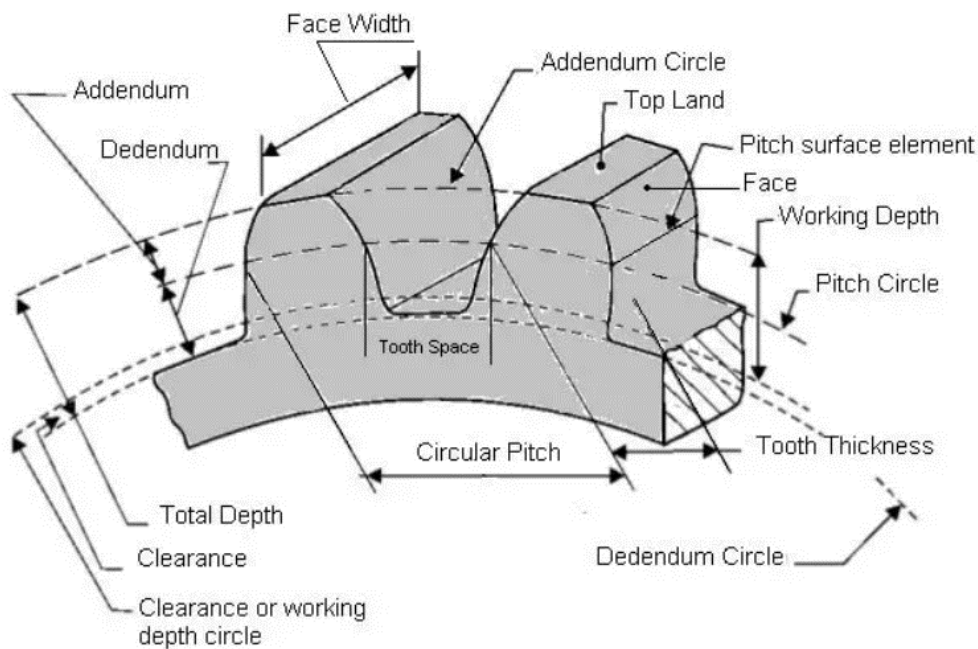
- kola se zakřivenými zuby,
- kola se šroubovými zuby.



Obr. 57 Tvary zubů ozubených kol

10.1 Základní geometrické parametry čelního ozubení s přímými zuby

Základní vztažnou plochou ozubeného kola je roztečný válec, který je u nekorigovaných kol totožný s válcem valivým. Vzájemný pohyb dvou ozubených kol se může nahradit bezskluzovým valením valivých válců po sobě. Ozubení je omezeno hlavovým a patním válcem. Část zubu mezi válcem roztečným a hlavovým se nazývá hlavou zubu, část mezi válcem roztečným a patním patou zubu. Zubová mezera je ohraničena hlavovým a patním válcem a dvěma nestejnolehlými boky sousedních zubů. Dalším základním rozměrem je rozteč zubů, to je vzdálenost dvou stejnohlých boků. Na obrázku jsou znázorněny základní rozměry čelního přímého ozubení společně se základními pojmy.



Obr. 58 Základní profil ozubeného kola

Modul m

- vychází se z obvodu roztečného válce a poměr mezi p a π určuje tvar zubu. Od modulu se odvíjí všechny rozměrové parametry ozubeného kola. Jedná se o délku roztečné kružnice připadající na jeden zub ozubeného kola. Spolu s počtem zubů se jedná o základní údaj určující velikost a únosnost kola.

Úhel záběru α

- úhel, který svírá tvořící se přímka evolventy procházející valivým bodem s tečnou k roztečné kružnici. Úhel záběru ozubení má normalizovanou hodnotu $\alpha = 20^\circ$. V některých mimořádných případech se lze setkat i s úhly záběru 15° , $22,5^\circ$, 25° a 30° . Úhel záběru je svírán normálou spojnice středů obou kol v bodě dotyku roztečných kružnic a přímkou záběru.

V závislosti na velikosti modulu m se určují další rozměry ozubení. Při hlavové vůli $c_a=0,25 \cdot m$ jsou vypočteny základní rozměry nekorigovaného ozubeného kola s přímými zuby, kde platí následující vztahy:

- průměr roztečné kružnice $d=z \cdot m$
- výška hlavy zuby $h_a=m$
- výška paty zuby $h_f=h_a+c_a=m+0,25 \cdot m=1,25 \cdot m$,
- průměr roztečné kružnice $d=z \cdot m$,
- průměr hlavové kružnice $d_a=d+2 \cdot h_a=z \cdot m+2 \cdot m=m \cdot (z+2)$,
- průměr patní kružnice $d_f=d-2 \cdot h_f=z \cdot m-2 \cdot 1,25 \cdot m=m \cdot (z-2,5)$

s - tloušťka zuby (vzdálenost dvou protilehlých bodů zuby na roztečné kružnici),

p - rozteč zubů (vzdálenost stejnolehlých bodů dvou sousedních zubů, měřena na roztečné kružnici,

b - šířka kola,

z – počet zubů daného ozubeného kola.

10.2 Geometrické odchylky ozubení

Podle normy ČSN 01 4682 jsou ozubená kola rozdělena do 12 tříd podle přesnosti. Obdobný systém nalezneme i v normách DIN a ISO. Norma ISO stanoví navíc stupeň přesnosti 0. Pro každý stupeň přesnosti s výjimkou prvního a druhého jsou stanoveny předpisy skupin úchylek kinematické přesnosti, plynulosti chodu a dotyku zubů ozubených kol v soukolí. Stupně přesnosti 1 a 2 jsou určeny k perspektivnímu použití. Norma umožňuje kombinovat různé stupně přesnosti pro jednotlivé funkční skupiny úchylek. Požadujeme-li tedy od ozubeného kola například maximální kinetickou přesnost, můžeme pro tuto skupinu úchylek předepsat vyšší stupeň přesnosti než pro skupiny ostatní.

Pro dodržení funkčnosti ozubených kol je podmíněné, aby ozubená kola splňovala určité podmínky, mezi které patří dodržení požadovaných kinematických vlastností a potřebného dotyku funkčních ploch zubů k přenosu zatížení v průběhu provozu. Z kinematického hlediska je plynulost chodu daná, která je daná změnami pohybu soukolí při malých pootočeních. Nutné je dodržení určité boční vůle mezi nepracovními boky zubů.

Nepřesnost ozubení vznikají jako projevy:

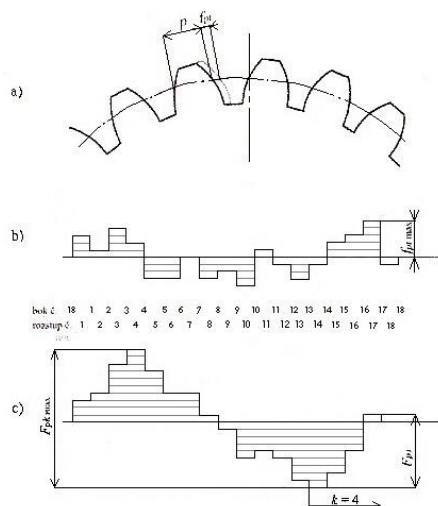
- nepřesnosti použitého nástroje a jeho ustavení,
- nepřesnost výrobního stroje,

- upnutí obrobku na stroji,
- způsobu výroby ozubení a jeho parametrech.

10.2.1 Odchylka čelní rozteče

Norma ISO 1328-1 (01 4682) N (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. 59 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 odchylkou 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.

10.2.2 Odchylky profilu

Dle normy ČSN ISO 1328-1 (014682) N Čelní ozubená kola – Soustava přesností ISO definuje **odchylku profilu** jako profilu jako kolmé odchylky k profilu zubu v čelní rovině, měřené ve vyhodnocovaném úseku profilu L_α . V grafickém záznamu odchylek se vyhodnocuje (obr.ccc)

- 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 - $f_{f\alpha}$.

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.

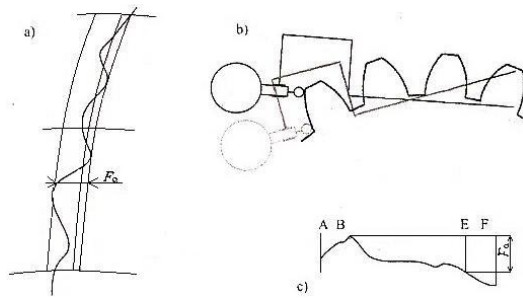
Měření odchylek profilu je uskutečňované pomocí přístrojů na měření evolventy. Grafický záznam se získává odvalem dotyku po profilu boku zubu, vždy směrem od paty k hlavě zubu. Princip měření spočívá v porovnávání skutečného (měřeného) profilu s teoretickým profilem. Vyhodnocuje se jako největší vzdálenost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

10.3 Házení

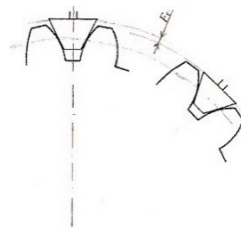
Definice radiálního házení F_r je na obr. xxs. Radiální házení se měří v zubové mezeře a to v blízkosti roztečné kružnice anebo na hlavové kružnici ozubeného kola vhodným snímačem s prizmatickým tvarem dotyku (parametry potřebné pro výpočet úhlu prizmy jsou na obr. xxo., kuličkovým anebo válcovým dotykem. 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.

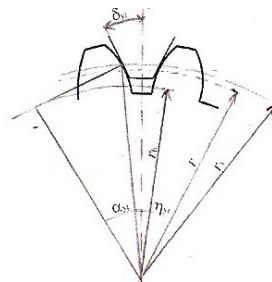
ISO 1328-2 udává závislost dovolených odchylek od valu a boční vůle na průměru roztečné kružnice a normálovém modulu.



Obr. 60 Celková odchylka profilu (a) definice, b) měření na evolventoměru, c) grafický záznam)



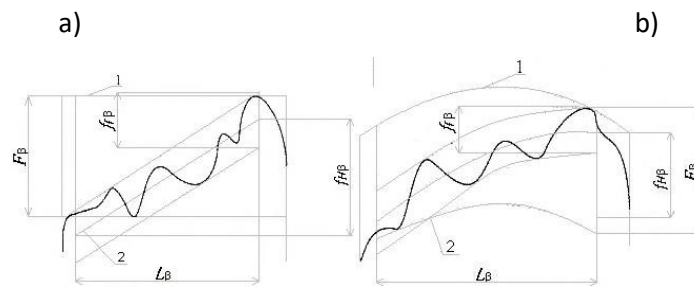
Obr. 61 Schéma měření ozubení



Obr. 62 Parametry prizmatického dotyku

Odchylka boční křivky

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



Obr. 63 Celková odchylna boční křivky a její složky
 a) nemodifikovaná boční křivka, b) modifikovaná boční křivka, 1 – jmenovitá boční křivka, 2 – střední boční křivka

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

- Odchylnu 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} .

- Odchylnu 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} .

10.4 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 přesnosti 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.

10.5 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.

10.6 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.

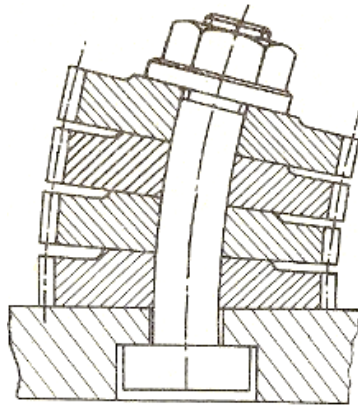
Tyto metody se nazývají relativní, nebo trojbodové. Na jejich základě se dají navrhnout přístroje, které se mohou využít ve výrobě a to i přímo na stroji, po dobu obrábění. V současné době je použití relativních metod omezené, protože dopředu často nepoznáme základní tvarovou odchylku.

10.6.1 Měření a kontrola polotovaru na ozubení

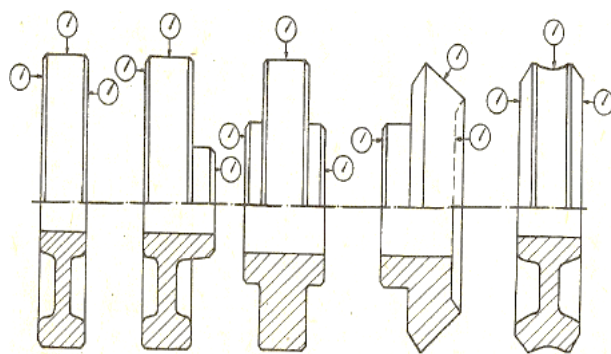
Výroba i kontrola ozubených kol jsou poměrně náročné, pracuje se se složitými geometrickými tvary (evolventa, cykloida), proto se na pracovníky, kteří se na ní zúčastňují, kladou vysoké nároky.

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. xcx). Průměr kola musí být centrický, protože při frézování anebo při obrázení se podle něho kolo centruje. Způsob kontroly kola po soustružení a měření radiálních a axiálních házení je znázorněné na (obr. xcvi).



Obr. 64 Příklad na deformaci upínacího trnu vlivem nepřesnosti bočních čel



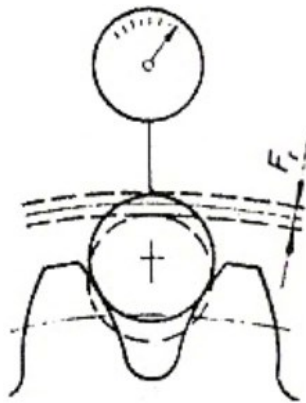
Obr. 65 Místa kontroly házení ozubených kol po soustružení

10.6.2 Měření obvodového házení ozubení

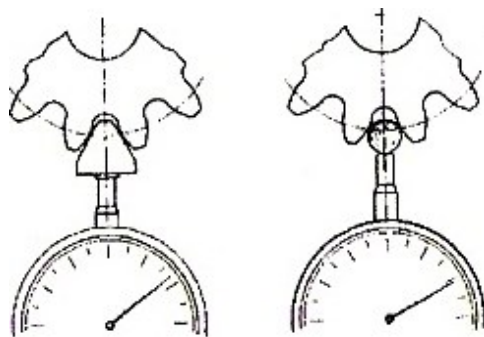
Obvodové házení ozubení F_r je největší naměřená radiální změna polohy měřícího elementu v libovolném čelním řezu. Tento element je postupně vkládán do všech zubových mezer měřeného

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 měřicím 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. 66 Obvodové házení

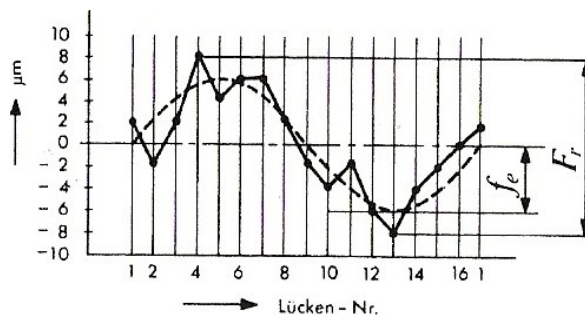


Obr. 67 Princip kontroly obvodového házení ozubení F_r

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. 68 Diagram obvodového házení pro ozubení se 16 zuby

10.7 Kontrola ozubených kol

Funkčnost ozubených kole je podmíněná dodržáním požadovaných kinematických a tvarových vlastností. Z kinematického hlediska je plynulost chodu dána změnami pohybu soukolí při malých pootočeních. Taky je důležité dodržování určité boční vůle mezi nepracovními boky zubů.

Nepřesnost vznikají v průběhu výroby a mohou se projevit jako:

- nepřesnost nástroje a jeho ustavení,
- nepřesnost stroje a upnutí obrobku na stroji,
- způsob technologie výroby a jeho technologické parametre.

Zásadní vliv na přesnost a kontrolu ozubených kol mají obecné normy, které se předepisují na výkresové dokumentaci a dle norem stanovujeme 12 stupňů (dle ISO 13 stupňů) přesnosti, ve kterých jsou definované různé typy odchylek. Hlavní vliv na kontrolu čelních ozubení je norma ČSN ISO 1328-1 (01 4682) Čelní ozubená kola – Soustava přesnosti ISO -Část 1: Definice a mezní úchytky vztažené na stejnohřídele boky zubů ozubeného kola.

Nejčastější ukazovatele přesnosti jsou rozděleny dle vlivu na funkci soukolí:

- **kinematická přesnost kola (soukolí)** - popisuje uhlové odchylky natočení ozubeného kola za celou otáčku (po celou dobu cyklu odvalu – způsobují zrychlování nebo zpomalování hnaného kola při rovnoměrném otáčení kola hnacího),
- **plynulost chodu kola (soukolí)** – popisuje ti složky celkové uhlové odchylky natočení ozubeného kola, které se během jedné jeho otáčky mnohokrát odvalují (za jeden celkový cyklus odvalu – ovlivňují rozložení sil),
- **pásmo dotyku zubů kola (soukolí)** – popisuje přesnost vzájemného kontaktu pracovních boků zubů soukolí v smontovaném stave.

Ukazovatele přesnosti – jsou odchylky funkčních parametrů tj. kinematické přesnosti, plynulosti chodu dotyku zubů (komplexní ukazovatele) nebo geometrické elementy (jednotlivé ukazovatele) kola a soukolí, které mohou být kontrolovány, a jsou omezené krajními hodnotami.

Jednotlivá odchylka – je definovaná jako odchylka libovolného geometrického elementu (parametru) ozubeného kola, jako např.: tloušťka zubu, sklon zubu, profil nebo rozstup zubu apod.

Funkční odchylka – je definovaná jako odchylka některého z funkčních parametrů ozubeného kola nebo soukolí, např.: pásmo dotyku, kinematická odchylka, cyklická odchylka apod.

Pro menší počet měření odchylek jsou stanovené **komplexní kontroly**, které představují výběr vždy několik odchylek z každé skupiny. Norma definuje, aby jedna z odchylek v komplexu převyšovala hraniční hodnotu, pokud souhrnný vliv všech odchylek nepřevyšuje dovolenou odchylku.

V rámci kinematické přesnosti se z komplexního hlediska např. měří radiální házení, přičemž místo odchylek radiálního házení je možné kontrolovat odchylky dvoubokého odvalu, z kterých se vyhodnotí i odchylku radiálního házení.

V rámci plynulosti chodu je jeden ze komplexní kontroly odchylka profilu (evolventy), kde je brána jako souhrn odchylek profilu zubu a v ní se projevuje jednak vlastní chyba profilu proti teoretickému tvaru a jednak odchylce uhlu záběru, která souvisí s chybou poloměru základní kružnice.

Dle požadavek kladených na ozubené kola se této zařazují do jedné z 8 stupňů přesnosti (5 – 12) na základe způsobu výroby, obvodové rychlosti a drsnosti povrchu obrobených zubů.

Velkost zaručené boční vůle mezi nepracovními bokami spoluzabírajících zubů zmontovaného soukolí je charakterizovaná skupinou bočních vůlí, které volba je závislá na stupni přesnosti dle plynulosti chodu a na předpokládaných tepelných poměrů ozubeného soukolí v provozu. Rozlišuje se 5 skupin bočních vůlí (*a* až *e*), ke kterým jsou přiřazené příslušné tolerance tloušťky zubu, základního profilu a rozměru ces zuby.

Při kontrole ozubených kol sledujeme nejčastěji následující parametry ozubeného kola:

- tloušťku zubu *s*
- tvar profilu zubu
- obvodové a čelní házení ozubeného kola
- dotyk boků zubů při záběru
- průměr hlavové kružnice

Kontrola některých dílčích parametrů ozubených kol

10.8 Měření profilu zubu

- přesnost tvaru profilové křivky je ovlivněná způsobem obrábění ozubení, nastavením stroje, nastavení parametrů a zvolením vhodného nástroje.

- Odchylky profilu zubu kontrolujeme za pomoci měřicího přístroje , který vytváří přesnou evolventu, a to tím, že se odvaluje pravítko po kotouči, který má stejný průměr jako základní kružnice kontrolovaného kola,
- přístroj je opatřen dotykem, který se odvaluje po profilu zubu,
- výsledky kontroly – odchylky se zobrazí na číselníku úchylkoměru nebo se zapisují odchylky kontrolovaného profilu.
- Dle konstrukce dělíme přístroje evolventoměry na dva typy:
 - s pevnou základní kružnicí – použití v sériové výrobě,
 - se stavitelnou základní kružnicí – pro výzkumné účely.

10.9 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

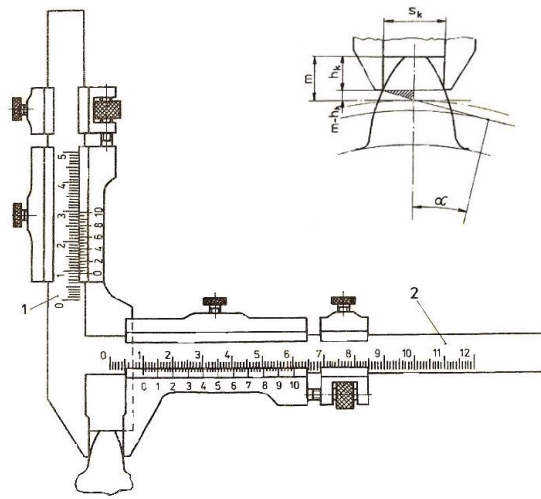
Konstantní tloušťka zubu s_k je určena vzdáleností průsečíků evolvent profilu zubu s tečnami k základní kružnici procházející průsečíkem osy profilu zubu s roztečnou kružnicí.

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

Popis měřidla:

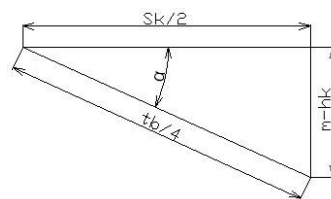
Posuvné měřítko na měření tloušťky zubu sestává z posuvného měřítka sdruženého s hloubkoměrem. Na svislém měřítku se nastavuje hloubka měření. Vodorovným měřítkem se měří

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



Obr. 69 Posuvné měřidlo (zuboměr) na měření tloušťky zubů

10.9.1 Výpočet jmenovité konstantní tloušťky a výšky zubů



Obr. 70 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 $S_k - S_{kh} = \Delta S_{kh}$

10.10 Měření rozměru přes zuby „M“

Norma ČSN 01 4675 stanovuje způsob zjištění tloušťky zubu čelných kol s přímými zubma s evolventním ozubením měřeným rozměru ces několik zubů.

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 úchylkou 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 obvodě 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.

$$M_D = M - \Delta M_D$$

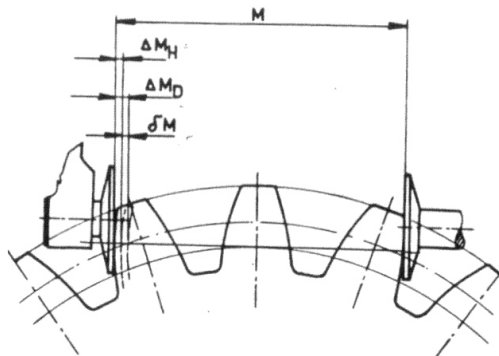
Horní i dolní úchylka je vždy záporná (aby vznikla vůle).

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.



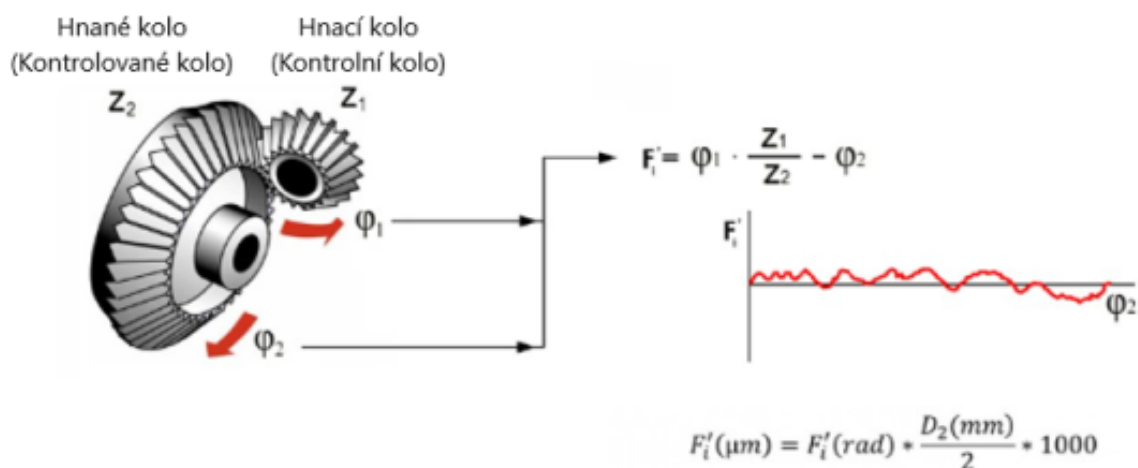
Obr. 71 Schéma měření mikrometrem s talířovými dotyky

10.11 Komplexní kontrola ozubených kol jednobokým a dvojbokým odvalem.

Jednobokým ale i dvojbokým odvalem se provádí komplexní kontrola ozubených kol ve formě stanovení velikostí chyb záběru. U jednobokého odvalu v průběhu měření dochází k dotyku pouze na jedné dvojici odpovídajících boků zubů. Na rozdíl u dvoubokého odvalu je osa jednoho kola pevná a druhé kolo je k němu dotlačováno, tak aby v průběhu odvalu byl zajištěn oboustranný dotek obou boku zubu.

Kontrola ozubených kol jednobokým odvalem

- jedná se o vysoce sofistikovanou a přesnou metodu měření ozubených kol, kde jsou oba boky (levý a pravý) měřeny individuálně v pevné osové vzdálenosti a / nebo požadované poloze vůle,
- Metoda je založena na určování rozdílu skutečných a jmenovitých úhlových poloh kontrolovaného ozubeného kola, které zabírá s měřicím elementem a je jím vedeno.
- Princip kontroly pro jednobokým odvalem spočívá v spoluzabírání zkoušeného kola (kontrolovaného kola) s párovým kolem, nebo s kontrolním kolem obr.72,
- Základní metoda kontroly kinematické přesnosti ozubení – určuje nepřetržité změny chyb úhlových poloh kontrolovaného kola podle úhlu jeho pootočení.
- Kinematická nepřesnost určuje srovnáním otáček hnaných částí dvou systémů, přičemž jeden tvoří ozubený převod a druhý mechanismus přístroje, který musí zabezpečovat přesný převod se zadaným převodovým poměrem. Obe kola jsou v záběru při konstantní osové vzdálenosti a mají boční vůli. Dle směru otáčení se dotýkají, buď jen pravé strany, nebo levé strany boky zubů.
- Rychlost otáčení kol je malá, a to způsobí, že případné geometrické odchylky ozubení se projeví v nerovnoměrném pohybu kontrolovaného (hnaného) kola,
- jmenovitý úhel pootočení hnaného (kontrolovaného) kola je součinem úhlu pootočení hnacího (kontrolního) kola a převodového poměru (obr. 72),
- případné rozdíly mezi zaznamenaným a jmenovitým úhlem pootočení hnaného kola se zaznamenávají do grafu jako funkce úhlu pootočením hnacího kola.



$\Delta\phi_3$

Obr. 72 Princip jednobokého odvalu, a jeho grafické zobrazení.
 ϕ_1 – úhel pootočení kontrolního kola, ϕ_2 – zaznamenaný úhel pootočení kontrolovaného kola,
 ϕ_3 – jmenovitý úhel pootočení kontrolovaného kola odpovídající pootočení kola kontrolního ϕ_1 ,
 f_i' – odchylka při pootočení o 1 rozteč, F_i' – kinematická odchylka jednobokého odvalu za 1 otáčku)

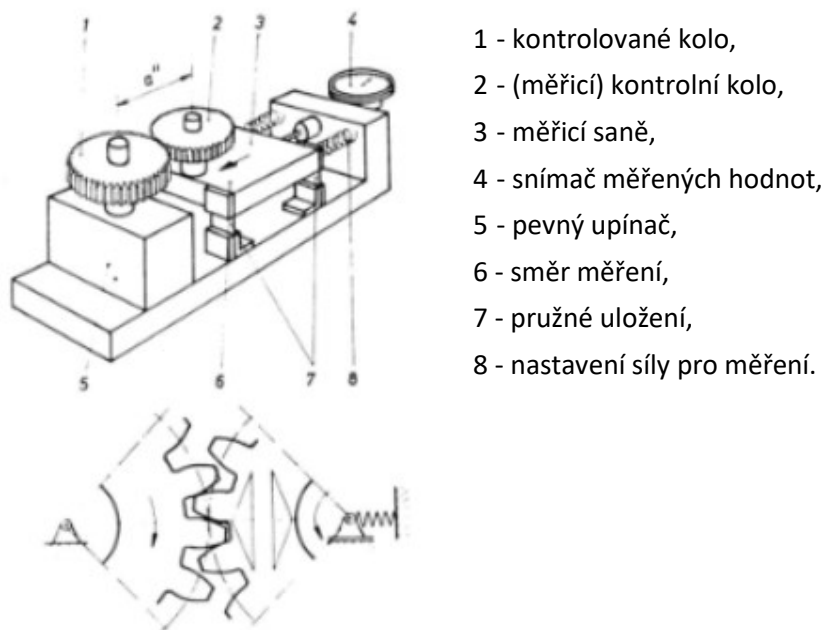
Použití – pro kontrolu správnosti smontovaných páru ozubených kol, tak i jednotlivých ozubených kol.

Výhody - metoda jednookého odvalu se radí ze všech metod kontroly ozubení mezi nejbližší reálnému provozu soukolí.

Nevýhody – technicky náročná a zřídka používaná.

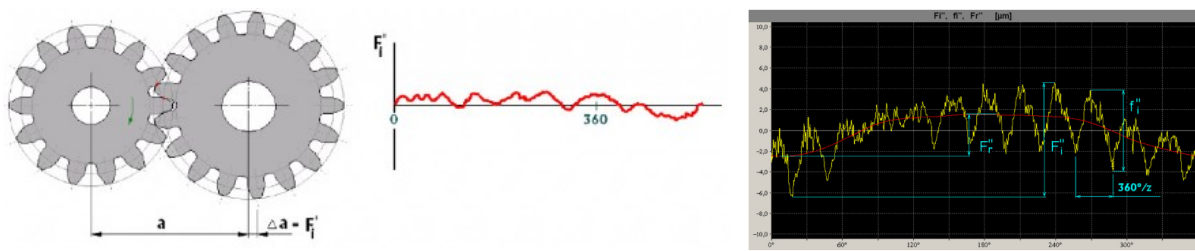
10.12 Kontrola ozubených kol dvoubokým odvalem

- Jedná se o jednoduchou a hospodárnou metodu kontroly ozubených.
- Metody kontroly dvoubokého odvalu spočívá, že se po sobě navzájem odvalují dvě ozubená kola bez vůle, přičemž musí být dodržený stejný modul, uhel záběru a u šikmého ozubení i uhel sklonu zubu obr.73



Obr. 73 Princip kontroly ozubených kol dvoubokým odvalem

- Pro kontrolu, mohou být použita: obě vyráběná kola, nebo vyráběné kolo a kolo kontrolní.
- Jedno kolo je pevné, ležící v ose a druhé je dotlačováno k prvnímu tak, aby byl zajištěný oboustranný dotyk.
- Pro kontrolu mohou být použité: obě vyráběná kola, nebo zpravidla vyráběné kolo a kolo kontrolní.
- Rychlost otáčení je malá.
- Během odvalu dochází, při otáčení kola následkem různých geometrických odchylek ozubení kontrolovaného kola k změnám osové vzdálenosti spolu zabírajících kol. Změny možno zaznamenat graficky (kartézských nebo polárních souřadnicích) nebo číselně, např. na stupnici číselníkového úchylkoměru, viz obr.xxc

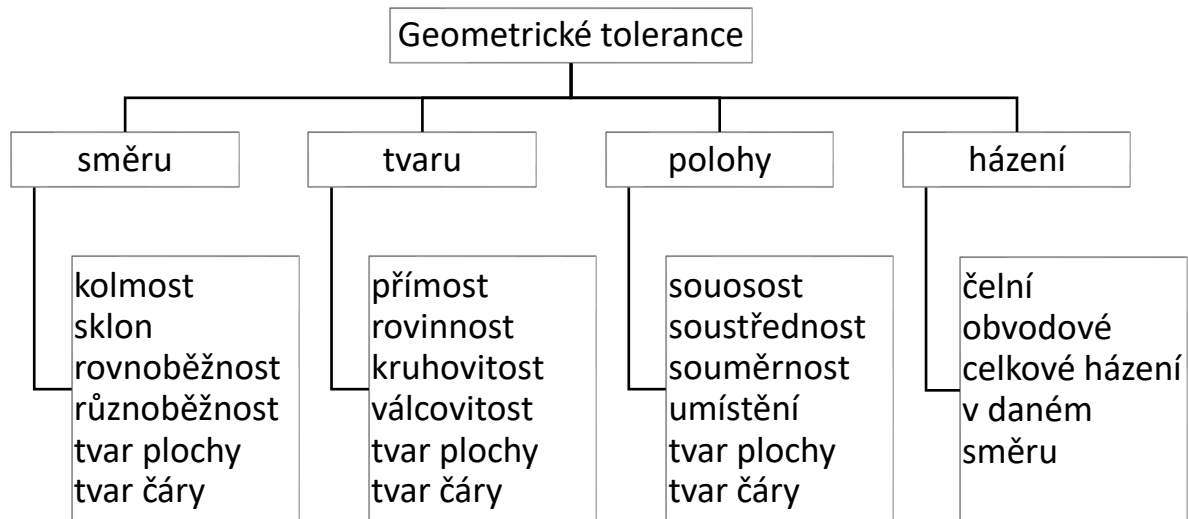


Obr. 74 Grafické zobrazení kontroly dvoubokým odvalem. (F_i^k – Kinetická úchylka kola při dvoubokém odvalu (odchylka dvoubokého odvalu za otáčku), f_i^m – místní kinetická odchylka kola při dvoubokém odvalu za jednu rozteč).

11 Základy kontroly odchylek tvaru a polohy

Skutečné plochy vykazují určité odchylky vzhledem k jmenovitým hodnotám. Dle normy ISO 1101 geometrická tolerance je definována jako toleranční pole, ve kterém se musí nacházet skutečný prvek součásti. Základní tolerance definované pro geometrickou přesnost dle normy ISO 1101 (XX).

Geometrické odchylky jsou výsledkem nepřesnosti procesu výroby a musí být měřeny a kontrolovány



Obr. 75 Geometrické tolerance

11.1 Geometrické odchylky směru

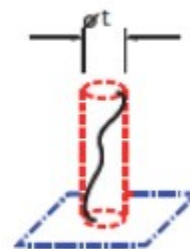
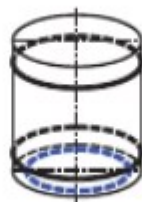
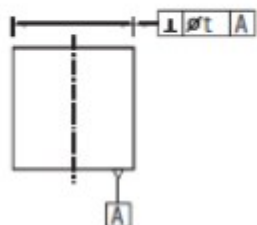
Kolmost plochy vůči vztažné ose

Toleranční zóna je vymezená dvěma rovnoběžnými rovinami s normálovou roztečí t , kolmou ke vztažné ose. Povrch tolerované plochy se musí nacházet mezi těmito rovinami.

Kolmost plochy vůči vztažné rovině

Toleranční zóna je vymezená dvěma rovnoběžnými rovinami s normálovou roztečí t , kolmou ke vztažné rovině. Povrch tolerované plochy se musí nacházet mezi těmito rovinami.

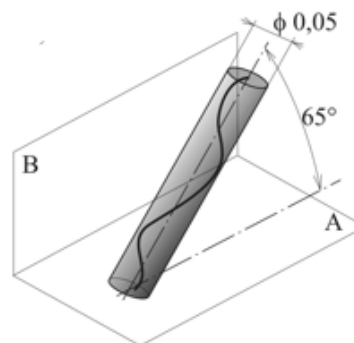
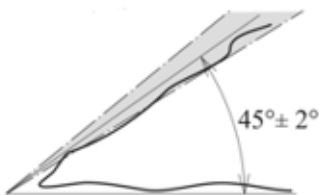
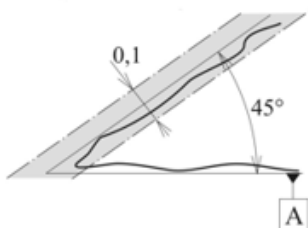
Tolerance kolmosti střední čáry
válnové plochy vůči vztažné
rovině.



Obr. 76 Kolmost

Sklon vůči vztažné ose

Toleranční zóna je vymezena dvěma rovnoběžnými rovinami s normálovou roztečí t , nakloněnými pod zadaným úhlem vůči vztažné ose. Tolerovaná čára se musí nacházet mezi těmito rovinami.

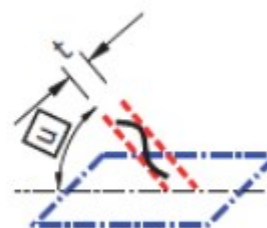
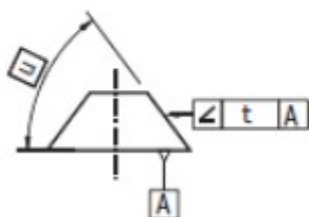


Obr. 77 Sklon k ose

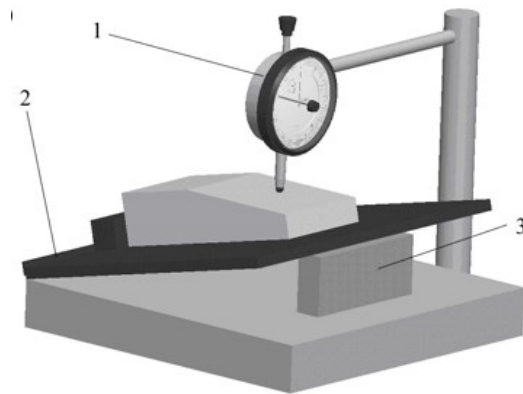
Sklon vůči vztažné rovině

Toleranční zóna je vymezena dvěma rovnoběžnými rovinami s normálovou roztečí t , nakloněnými pod zadaným úhlem vůči vztažné rovině. Tolerovaná čára se musí nacházet mezi těmito rovinami.

Náklon čáry
vůči vztažné rovině.



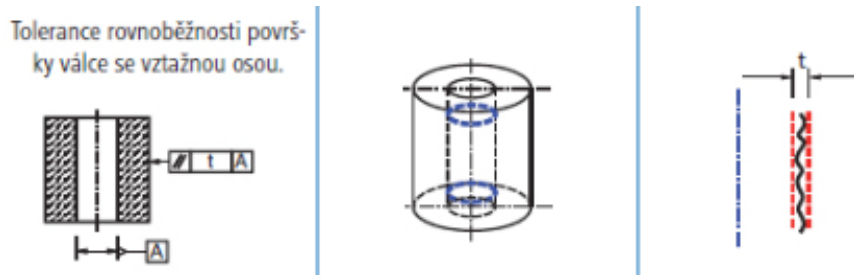
Obr. 78 Sklon k rovině



Obr. 79 Měření sklonu

Rovnoběžnost čáry se vztážnou osou

Toleranční zóna je vymezena dvěma rovnoběžnými rovinami s normálovou roztečí t , rovnoběžnými se vztážnou přímkou. Libovolná površka tolerovaného válce se musí nacházet mezi těmito rovinami.



Obr. 80 Rovnoběžnost s osou

Rovnoběžnost plochy se vztážnou rovinou

Toleranční zóna je vymezena dvěma rovnoběžnými rovinami s normálovou roztečí t , rovnoběžnými se vztážnou rovinou. Povrch tolerované plochy se musí nacházet mezi těmito rovinami.

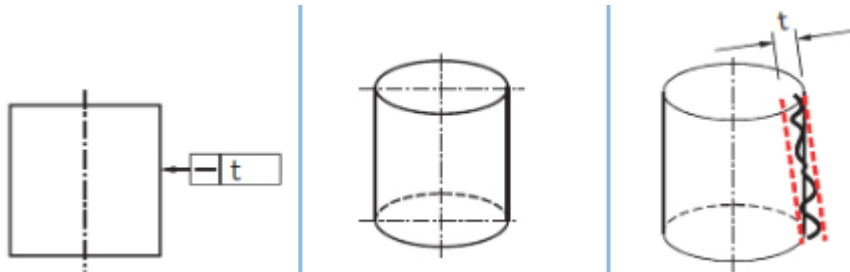


Obr. 81 Rovnoběžnost s rovinou

11.2 Geometrické odchylky tvaru

Přímost

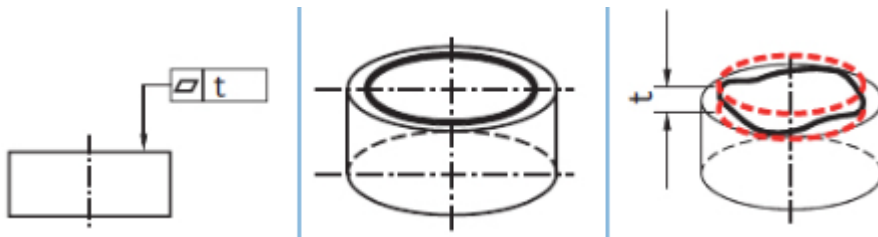
Toleranční zóna je vymezena dvěma rovnoběžnými rovinami s normálovou roztečí t , každá površka tolerovaného válce se musí nacházet mezi těmito rovinami.



Obr. 82 Přímost

Rovinnost

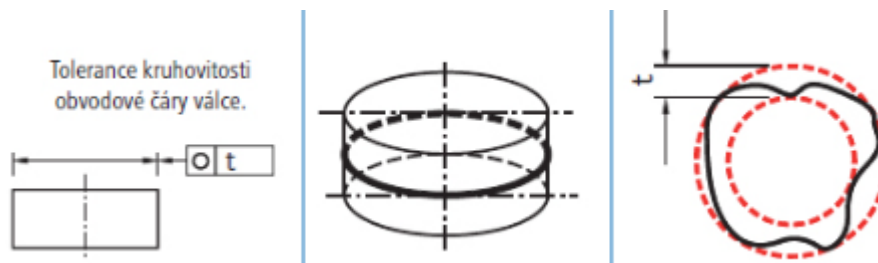
Toleranční zóna je vymezena dvěma rovnoběžnými rovinami s normálovou roztečí t , všechny body tolerované plochy se musí nacházet mezi těmito rovinami.



Obr. 83 Rovinnost

Kruhovitost

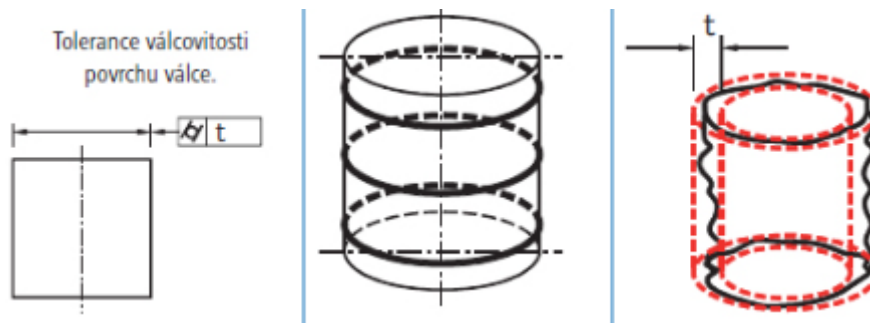
Toleranční zóna je vymezena v příčném řezu, dvěma soustřednými kružnicemi s rozdílem poloměru t , libovolná obvodová čára tolerovaného válce se musí nacházet mezi těmito kružnicemi.



Obr. 84 Kruhovitost

Válcovitost

Toleranční zóna tolerovaného povrchu válce je vymezena dvěma sousými válci s rozdílem poloměru t , každá površka a obvodová čára tolerovaného válce se musí nacházet mezi těmito válci.

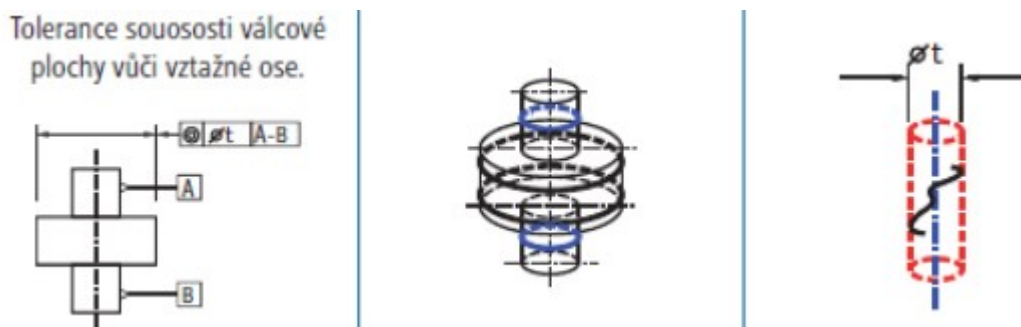


Obr. 85 Válcovitost

11.3 Geometrické odchylky polohy

Souosost

Toleranční zóna je vymezena válcem o průměru t , jehož osa je totožná se vztaznou osou. Střední čára tolerovaného válce se musí nacházet uvnitř tohoto válce.

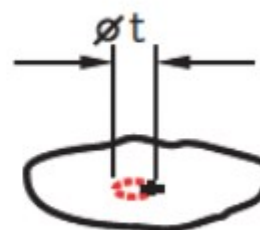
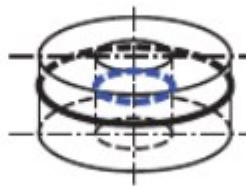
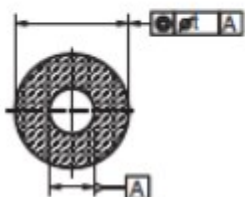


Obr. 86 Souosost

Soustřednost

Toleranční zóna je vymezena kružnicí o průměru t , jejíž střed leží ve vztazném bodě. Střední bod obvodové čáry se musí nacházet uvnitř této kružnice.

Soustřednost středního bodu
obvodové čáry vůči průsečíku
osy díry a roviny řezu.



Obr. 87 Soustřednost

Souměrnost od základního prvku

Největší vzdálenost mezi rovinou souměrnosti uvažovaného prvku a rovinou souměrnosti základního prvku.

Souměrnost ke společné rovině

Největší vzdálenost mezi rovinou souměrnosti uvažovaného prvku a společnou rovinou souměrnosti dvou nebo více prvků.

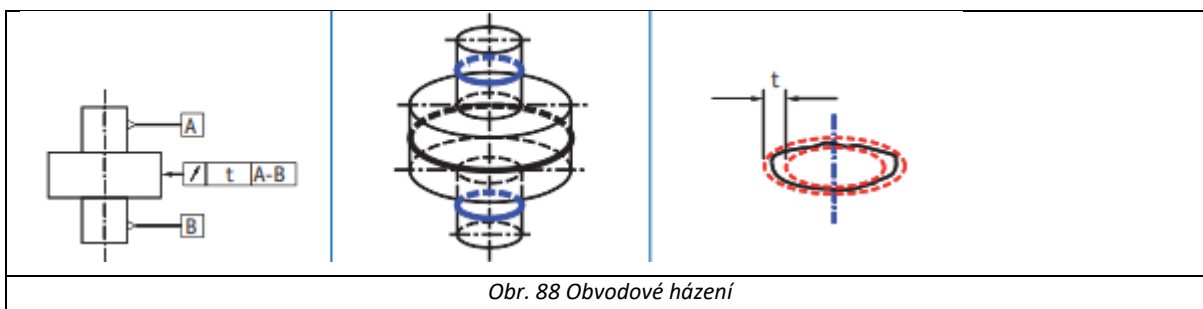
Umístění/ Poloha

Toleranční zóna tolerovaného bodu je vymezena válci s rozdílem poloměru t , každý bod musí ležet mezi obvodovými kružnicemi tolerovaného válce.

11.4 Házení

Obvodové házení

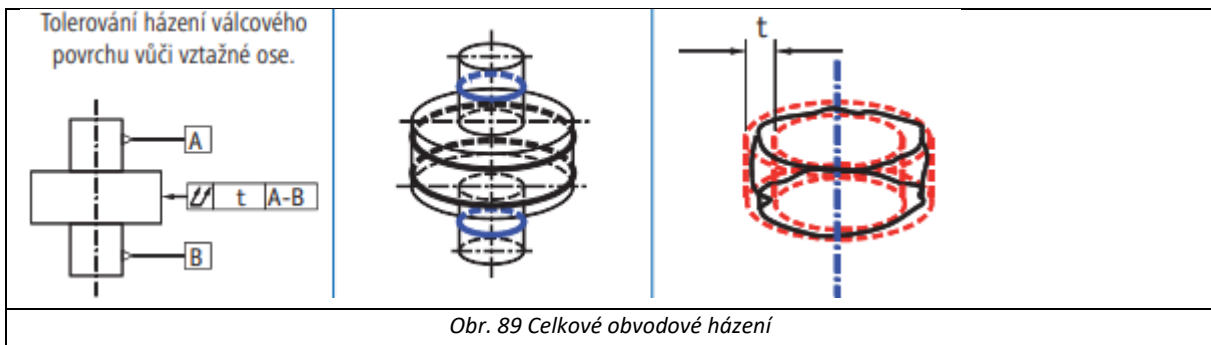
Toleranční zóna je v libovolném řezu, kolmém ke vztažné ose, vymezena dvěma soustřednými kružnicemi s rozdílem poloměru t , se středem na vztažné ose.



Obr. 88 Obvodové házení

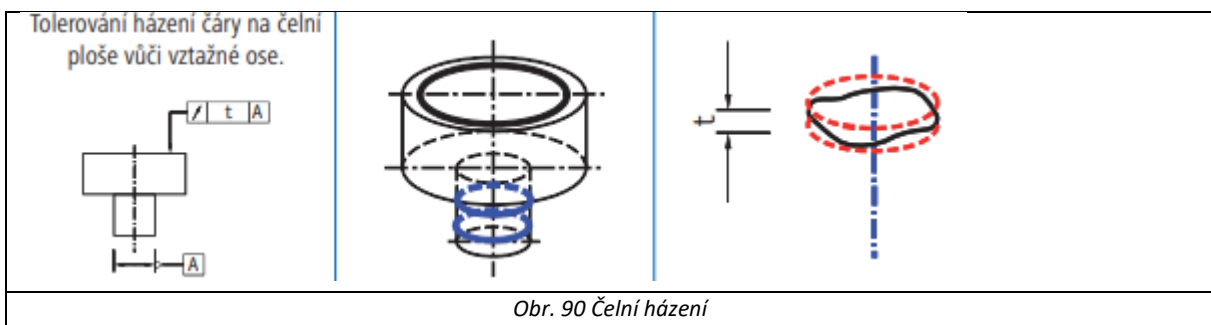
Celkové obvodové házení

Toleranční zóna je vymezená dvěma souosými válci s rozdílem poloměru t , jejich osa je totožná se vztážnou osou. Tolerovaný povrch se musí nacházet mezi těmito válci.



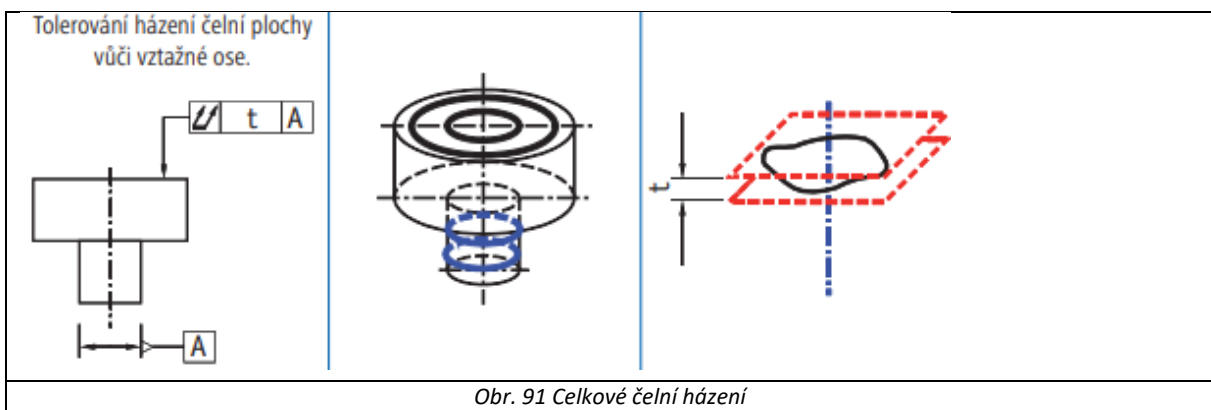
Čelní házení

Toleranční zóna je vymezena dvěma kružnicemi s normálovou roztečí t , ležícím v libovolném válcovém řezu, jehož osa je shodná se vztážnou osou.

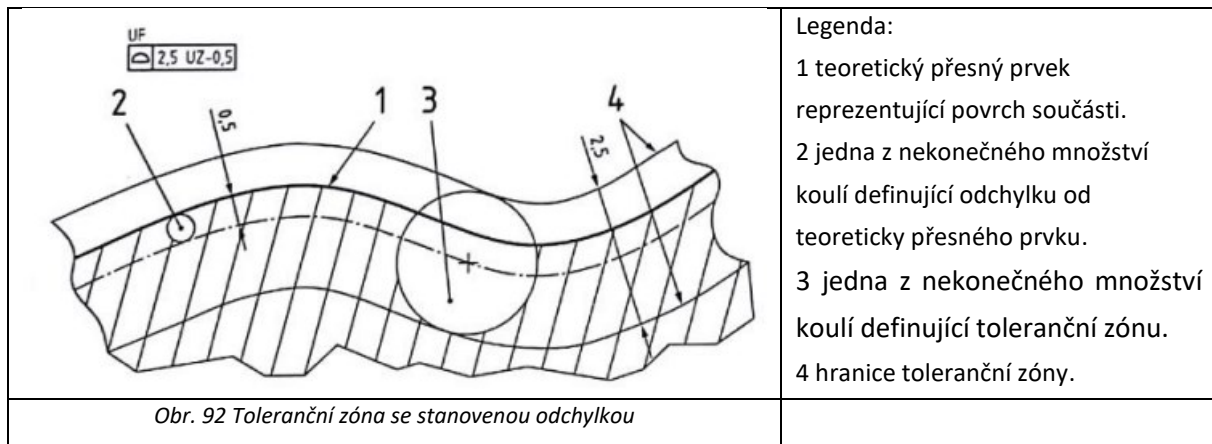


Celkové čelní házení

Toleranční zóna je vymezena dvěma rovnoběžnými rovinami s normálovou roztečí t , kolnými ke vztážné ose. Tolerovaný povrch se musí nacházet mezi těmito rovinami.



Toleranční zóna se stanovenou odchylkou



Toleranční zóna je umístěna symetricky v okolí teoreticky přesného prvku, kde střed koule je posunutý oproti referenčnímu prvku představující povrch o předepsanou hodnotu.

12 Použitá literatura:

- [1] PETŘKOVSKÁ, Lenka, ČEPOVÁ, Lenka. Strojírenská metrologie. Studijní opora “Strojírenská metrologie”. Ostrava 2011. ISBN 978-80-248-2723-0.
- [2] PETŘKOVSKÁ, Lenka, ČEPOVÁ, Lenka, . Metrologie a řízení kvality. Ostrava 2012. ISBN 978-80-248-2771-1.
- [3] TICHÁ, Šárka. Strojírenská metrologie – část 1. Ostrava 2004: VŠB-TU Ostrava. 112s., ISBN 80-248-0672-X.
- [4] Zákon č. 119/2000 Sb. – o metrologii. 2000
- [5] ČSN 01 0115: 1996: Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii. Praha, Český normalizační institut Praha. 1996.
- [6] ČSN ISO 1328-1 (014682): Čelní ozubená kola – Soustava přesnosti ISO-část 1: Definice a mezní úchytky vztažené na stejnohlé boky zubů ozubeného kola. Praha:Český normalizační institut Praha. 1997
- [7] ČSN EN ISO 4287: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – termíny, definice a parametry struktury povrchu. (01 4450). Praha: Český normalizační institut Praha. 1999.
- [8] ČSN EN ISO 3650: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Etalony délek – koncové měřky. (25 3308). Praha: Český normalizační institut Praha. 2000.
- [9] ČSN 01 4001: Závity. Terminologie. Praha: Český normalizační institut Praha. 1994.
- [10] ČSN 01 4013: Jednotná soustava tolerancí a uložení. Metrické závity. Základní rozměry. Praha: Úřad pro normalizaci a měření Praha. 1978.
- [11] ČSN 25 1964: Měřidla. Měřicí úhelníky pro měření kolmosti. Praha: Úřad pro normalizaci a měření Praha. 1970.
- [12] ČSN EN ISO 10360-2: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích strojů (CMM) - Část 2: Souřadnicové měřicí stroje používané pro měření lineárních rozměrů. Praha: Český normalizační institut Praha. 2002.
- [13] ČSN 01 4401: Základní pravidla zaměnitelnosti. Tolerance tvaru a polohy. Základní pojmy a definice. Praha: Úřad pro normalizaci a měření Praha. 1981.
- [14] ČSN EN ISO 5458: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Geometrické tolerování - Tolerování polohy. Praha: Český normalizační institut Praha. 2000.

- [15] ČSN ISO 4291: Metody hodnocení úchylek kruhovitosti. Měření změn poloměru. Praha: Český normalizační institut Praha. 1994.
- [16] ČSN ISO 4292: Metody. Hodnocení úchylek kruhovitosti. Měření dvou a třibodovou metodou Praha: Český normalizační institut Praha. 1994.
- [17] ČSN 25 3100 Kalibry hladké pro díry a hřídele. Druhy. Praha: Úřad pro normalizaci a měření. Praha. 1983.
- [18] <https://slideplayer.cz/slide/3150236/>
- [19] Kaťuch P., Kováč J., Dovica M. *Metrologia v strojárstve. Laboratórne úlohy – teoretická časť.* Strojnícka fakulta: Košice, 2010, s. 71. ISBN 978-80-553-0543-1
- [20] <http://books.fs.vsb.cz/StrojMetro/strojirenska-metrologie.pdf>
- [21] Norma. ISO 1101:2017, “Geometrical product specifications (GPS) - Geometrical tolerancing - Tolerances of form, orientation, location and run-out.”
- [22] https://www.zamekkurim.cz/security/Dum%20-%20Digitalni%20ucebni%20materialy/08_Sada_Obrabeni_1/VY_32_INOVACE_08_10_Soustruzeni_kuzelovych_ploch.pdf
- [23] <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CroppedCone.svg>
- [24] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tampon_conique.png
- [25] Petřkovská L, Čepová, L. *Metrologie a řízení kvality.* Ediční středisko VŠB – TUO, Ostrava, 2012, s. 142. ISBN 978-80-248-2771-1
- [26] Tichá, Š., Mrkvica I. *Vybrané kapitoly ze strojírenské metrologie.* VŠB – TUO, Ostrava, 2012, s. 143. ISBN
- [27] Petřkovská L., Čepová L. *Strojírenská metrologie.* VŠB – TU, Vydání: první, 2011, s.100. ISBN:
- [28] [Single flank gear roll | GEARTEC.CZ](#)
- [29] [Double flank gear roll | GEARTEC.CZ](#)
- [30] [Microsoft Word - STROJIRENSKA METROLOGIE 3-1.DOC \(vsb.cz\)](#)
- [31] [DIFERENCIÁLNÍ ROVNICE \(vsb.cz\)](#)
- [32] <https://www.bipm.org/documents/20126/45452563/COOMET.L-S17.pdf/e09cd5c7-b3d3-7be3-15b1-84348200d007>
- [33] https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_025/Technick%C3%A1%20m%C4%9B%C5%99en%C3%AD%20a%20metrologie%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad/02%20Text%20pro%20e-learning/Technick%C3%A1%20m%C4%9B%C5%99en%C3%AD%20a%20metrologie%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad_10.pdf

- [34] https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_025/Technick%C3%A1%20m%C4%9B%C5%99en%C3%AD%20a%20metrologie%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad/02%20Text%20pro%20e-learning/Technick%C3%A1%20m%C4%9B%C5%99en%C3%AD%20a%20metrologie%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad_10.pdf
- [35] <https://docplayer.cz/10614-Strojirenska-metrologie-cast-1.html>
- [36] <https://docplayer.cz/13247066-Vybrane-kapitoly-ze-strojirenske-metrologie.html>
- [37] https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29984
- [38] https://theses.cz/id/ku2new/2018_DP_Fusek_Jakub_161700.pdf
- [39] https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_025/Technick%C3%A1%20m%C4%9B%C5%99en%C3%AD%20a%20metrologie%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad/02%20Text%20pro%20e-learning/Technick%C3%A1%20m%C4%9B%C5%99en%C3%AD%20a%20metrologie%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad_10.pdf
- [40] [VYBRANÉ KAPITOLY ZE STROJÍRENSKÉ METROLOGIE - PDF Free Download \(docplayer.cz\)](#)
- [41] [Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava \(vsb.cz\)](#)
- [42] https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=54012https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=54012
- [43] <https://core.ac.uk/download/pdf/47182719.pdf>