



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní



STROJÍRENSKÁ METROLOGIE

Studijní opora „Strojírenská metrologie“

Ing. Lenka PETŘKOVSKÁ, Ph.D.

Ing. Lenka ČEPOVÁ, PhD.

Ostrava 2011



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu OP VK CZ.1.07/2.3.00/09.0147 „Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu“.

Název: Strojírenská metrologie
Autoři: Ing. Lenka PETŘKOVSKÁ, Ph.D., Ing. Lenka ČEPOVÁ, Ph.D.
Vydání: první, 2011
Počet stran: 101
Náklad: 25

Studijní materiály pro studijní obor strojírenská technologie Fakulty strojní

Jazyková korektura: nebyla provedena.



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.



Název: Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu
Číslo: CZ.1.07/2.3.00/09.0147
Realizace: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

© Lenka PETŘKOVSKÁ, Lenka ČEPOVÁ

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-2723-0

POKYNY KE STUDIU

Strojírenská metrologie

Pro studium problematiky strojírenská metrologie jste obdrželi studijní balík obsahující:

- integrované skriptum pro distanční studium obsahující i pokyny ke studiu,

Prerekvizity

Pro studium této opory se předpokládá znalost na úrovni absolventa střední školy strojního nebo příbuzného zaměření.

Cílem učební opory

Cílem je seznámení se základními pojmy týkající se metrologie. Po prostudování modulu by měl student být schopen pochopit základy metrologie a seznámit se se zákonem o metrologii. Dále zvládne problematiku výpočtu chyb a nejistot měření. Mezi jeho vědomosti se zařadí informace o základních měřidlech používaných v metrologii a to především pro měření délkou a úhlů. Součástí opory je také metrologický systém a řád firmy.

Pro koho je předmět určen

Modul je zařazen do bakalářského studia oboru strojírenská technologie, ale může jej studovat i zájemce z kteréhokoliv jiného oboru, pokud splňuje požadované prerekvizity.

Skriptum se dělí na části, kapitoly, které odpovídají logickému dělení studované látky, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly děleny dále na číslované podkapitoly a těm odpovídá níže popsáná struktura.

Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:



Čas ke studiu: xx hodin

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



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- + Popsat ...
- + Definovat ...
- + Vyřešit ...

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



Výklad

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



Shrnutí pojmů

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



Otázky

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



Úlohy k řešení

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



Klíč k řešení

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

Úspěšné a příjemné studium s tímto učebním textem Vám přeji autorky.

Ing. Lenka PETŘKOVSKÁ, Ph.D. a Ing. Lenka ČEPOVÁ, PhD.

OBSAH

1	ÚVOD.....	8
1.1	Metrologie a její úkoly	8
1.2	Základní pojmy v metrologii.....	10
2	ZABEZPEČOVÁNÍ METROLOGIE V ČESKÉ REPUBLICE.....	12
2.1	Národní metrologický systém ČR.....	12
2.2	Prvky národního metrologického systému (NMS), jejich postavení a úlohy....	14
2.3	Zákon o metrologii	16
2.3.1	Rozdělení měřidel podle zákona o metrologie	16
2.3.2	Orgány činné v oblasti metrologie	17
2.3.3	Základní jednotky SI soustavy	20
2.4	Metrologická návaznost a etalony	26
2.4.1	Vymezení pojmů a definic.....	26
2.4.2	Řetězec návaznosti.....	28
3	CHYBY A NEJISTOTY MĚŘENÍ	30
3.1	Základní pojmy pro chyby a nejistoty měření.....	30
3.2	Chyby měření.....	31
3.2.1	Náhodné chyby.....	32
3.2.2	Normální rozdělení.....	33
3.2.3	Systematické chyby	35
	• Výrobní údaje	36
	• Odhad chyb čtení na stupnici.....	36
3.3	Nejistoty měření.....	38
3.3.1	Druhy nejistot	39
	• Zdroje nejistot.....	39
	• Bilanční tabulka.....	40
3.3.2	Postup při stanovení nejistot	40
	• Standardní nejistota typu A	41
	• Standardní nejistota typu B	41
	• Kombinovaná nejistota:	43
	• Rozšířená nejistota:	43
4	VLASTNOSTI A ROZDĚLENÍ MĚŘIDEL.....	52
4.1	Vlastnosti měřidel.....	52

4.2	Rozdělení měřidel.....	56
5	MĚŘENÍ DÉLEK.....	58
5.1	Měřidla na principu posuvném.....	58
5.1.1	Posuvné měřidlo.....	58
5.1.2	Hloubkoměr a výškoměr.....	60
5.2	Měřidla na principu mikrometrického šroubu	61
5.2.1	Třmenový mikrometr.....	62
5.2.2	Mikrometrický hloubkoměr a odpich.....	63
5.3	Číselníkové úchylkoměry.....	65
5.4	Kalibry.....	66
5.5	Koncové měrky.....	68
6	MĚŘENÍ ÚHLŮ.....	71
6.1	Principy měření	72
6.2	Úhelníky	73
6.3	Úhloměry.....	74
6.4	Úhlové měrky.....	76
6.5	Vodováhy.....	78
6.6	Sinusové pravítko	79
6.7	Profilprojektory.....	80
7	METROLOGICKÝ SYSTÉM FIRMY	82
7.1	0. ETAPA – Vybudování metrologického systému firmy.....	82
7.2	1. ETAPA – Shrnutí a analýza vstupních aspektů metrologického systému	83
7.3	2. ETAPA – Uspořádání systému, tvorba a popsání v metrologickém řádu	84
7.4	3. ETAPA – Realizace poznaného a nastaveného systému ve firmě.....	85
7.5	4. ETAPA – Vyhodnocení získaných zkušeností a posouzení ekonomické efektivity metrologických činností.	87
7.6	5. ETAPA – Údržba a rozvoj metrologického systému	88
7.7	Schéma postupu od koupě měřidla až po jeho vyřazení.....	89
7.8	Metrologický řád	91
8	LITERAURA.....	101

1 ÚVOD

Tato kapitola má za úkol vysvětlit pojem metrologie a její úkoly. Popisuje filozofii správného měření a důvody, proč je metrologie důležitou součástí života. Vysvětluje výhody a důvody jednotného a přesného měření.

1.1 Metrologie a její úkoly



Čas ke studiu: 1 hodinu



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

- + Co je to metrologie.
- + Co je to Metrická konvence a Ujednání o vzájemném uznávání státních etalonů a certifikátů.
- + Jaké jsou charakteristické rysy současné metrologie.



Výklad

Metrologie - vědní a technická disciplína, zabývající se všemi poznatky a činnostmi, týkajícími se měření, je základem jednotného a přesného měření ve všech oblastech vědy, hospodářství, státní správy, obrany, ochrany zdraví a životního prostředí. Jednotné a přesné měření je předpokladem vzájemné důvěry při směně zboží, ale stále více i jednou z nutných podmínek jakékoliv efektivní výroby. Soudobé trendy vedou ke globalizaci hospodářství a k nebývalému využití kooperace v celosvětovém měřítku. Mnohé výrobky vznikají z částí, vyrobených na různých místech světa a nakonec složených v jediný funkční celek, v němž musí části bezchybně spolupracovat. To je možné jen díky jednotnému a přesnému měření, stejně jak o fungování soudobých globálních komunikačních systémů, vědecká pozorování, sledování životního prostředí a podobně. Z těchto skutečností vyplývá mimořádná úloha měřicí techniky a metrologie a její hospodářský význam.

Směna zboží si vyžádala postupné sjednocování jednotek měření již v počátcích civilizace, stejně jako bylo již ve starověku nezbytné zajistit určitou přesnost měření při velkých stavbách, při vyměřování pozemků nebo při pozorování astronomických jevů. Dramatický růst požadavků přinesl rozvoj moderní vědy a průmyslové výroby. To vedlo k vytváření více nebo méně konsistentních soustav jednotek a k sjednocování způsobu vyjadřování výsledků měření. Postupně bylo zřejmé, že opatření omezená na území jednoho státu nebo oblasti nestačí a že je nutné a prospěšné řešení globální. Tento proces vedl po Velké francouzské revoluci k prosazení desetinného metrického systému a k mezinárodní dohodě, zvané Metrická konvence (podepsaly ji doposud vlády 51 států, první z nich již v roce 1875 a Česká republika je vlastně jak o nástupnický stát Rakouska-Uherska signatářem Metrické konvence od samého počátku).

Metrickou konvencí byl přijat systém jednotek a jejich etalonů, který se v souladu s vývojem poznatků stále upřesňuje, ale v zásadě je systémem, umožňujícím dlouhodobou a celosvětovou slučitelnost měření se všemi příznivými důsledky pro mezinárodní obchod a výrobní kooperaci. Konvencí byla také ustavena organizační struktura, která poskytuje vládám základnu pro jednání o všech záležitostech týkajících se měření. Byl zřízen Mezinárodní úřad pro váhy a míry v Sevres u Paříže (BIPM), který uchovává mezinárodní etalony jednotek a působí jako celosvětové centrum metrologie. Konvence pořádá pravidelné Generální konference (CGPM) pro váhy a míry a v mezidobí řídí její činnost Mezinárodní výbor (CIPM). V roce 1960 byla Konvencí přijata moderní podoba metrického systému – Mezinárodní soustava jednotek SI.

V současné době jsou (kromě vědeckého a technického pokroku) hnací silou rozvoje metrologických systémů politické a hospodářské změny, spočívající v otevírání ekonomik globálnímu trhu, v uvolňování pohybu zboží a odstraňování technických překážek obchodu. Historickými mezníky bylo sjednání Metrické konvence a v současnosti podepsání Ujednání o vzájemném uznávání státních etalonů a certifikátů vydávaných národními metrologickými instituty (CIPM MRA) – kromě členských států Metrické konvence využívá jeho výhod i 23 přidružených států a ekonomik k CGPM.

U každé náročnější technologie platí, že to, co nelze změřit, nelze ani vyrobit (lord Kelvin) a bez stále náročnějších experimentů nelze získat nové vědecké poznatky. Technická náročnost měřicí techniky ji samozřejmě řadí také mezi nejvyspělejší technologie. Soudobá metrologie není proto charakteristická úředníky s razítkem a kabinety historických měřidel, ale špičkovým přístrojovým vybavením, spoluprací s vědeckými pracovišti univerzit a orientací na potřeby moderního průmyslu. Metrologie má výrazně průřezový charakter a uplatňuje se ve všech oborech. Charakteristickými rysy současné metrologie jsou:

- prudký technický rozvoj měřicí techniky, těsný vztah k pokrokům fyziky a využívání a uplatňování metrologie v nových odvětvích (chemie, biologie);
- uplatnění elektroniky, výpočetní techniky a automatizace v měřicí technice a metrologii a rostoucí využívání datových komunikací (e-kalibrace na dálku);
- realizace etalonů základních jednotek na základě kvantových jevů a univerzálních fyzikálních konstant (mimo jednotek kg, ampér, mol a kelvin realizováno u všech základních jednotek SI);
- trend ke vzájemnému uznávání výsledků měření a zkoušek v mezinárodním měřítku, vyžadující kromě technické kompetentnosti také posilování vzájemné důvěry na základě systémů řízení jakosti, akreditace, certifikace (one-stop testing).



Shrnutí pojmů 1.1.

Metrologie, Metrická konvence



Otázky 1.1.

1. Co je to metrologie?
2. Co je to Metrická konvence?
3. Proč byla zavedena Metrická konvence?

1.2 Základní pojmy v metrologii



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- + Pojmenovat vybrané základní pojmy z metrologie.
- + Definovat co je to norma TNI 01 0115.



Výklad

Veškeré názvosloví a symbolika v celém oboru metrologie jsou normalizovány na základě Technické normalizační informace TNI 01 0115, což je Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM). Ten je platný od února 2009 a je navrhován v souladu s pravidly uvedenými ve Směrnících ISO/IEC. Tato norma je terminologickým slovníkem, který obsahuje označení a definice ze specifických oborů.

Mezi některé základní pojmy patří:

Metrologie (VIM 2.2) – věda o měření a její aplikaci

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

Měření (VIM 2.1) – proces experimentálního získávání jedné nebo více hodnot veličiny, které mohou být důvodně přiřazeny veličině.

Měřená veličina (VIM 2.3) – veličina, která má být měřena.

Měřicí princip (VIM 2.4) – jev sloužící jako základ měření.

Metoda měření (VIM 2.5) – generický popis logického organizování činností použitých při měření.

Postup měření (VIM 2.6) – podrobný popis měření podle jednoho nebo více měřicích principů a dané metody měření založený na modelu měření a zahrnující jakýkoliv výpočet k získání výsledku měření.

Výsledek měření (VIM 2.9) – soubor hodnot veličiny přiřazený měřené veličině společně s jakoukoliv další dostupnou relevantní informací.

Kdy v poznámce k této definici je uvedeno, že je to úplný údaj výsledku měření včetně informace o nejistotě měření.

Veličina (VIM 1.1) – vlastnost jevu tělesa nebo látky, která má velikost, jež může být vyjádřena jako číslo a reference.

Základní veličina (VIM 1.4) – veličina v konvenci zvolené podmnožině dané soustavy veličin, z níž žádná veličina podmnožiny nemůže být vyjádřena pomocí jiných veličin.

Odvozená veličina (VIM 1.5) – veličina v soustavě veličin definovaná pomocí základních veličin této soustavy.

Hodnota veličiny (VIM 1.19) – číslo a reference společně vyjadřující velikost veličiny. Např. délka dané tyče 5,34 m nebo 534 cm.

Konvenční hodnota veličiny (VIM 2.12) – hodnota veličiny přiřazená pro daný účel k veličině dohodou. Např. standardní zrychlení volného pádu $g_n = 9,806\,65 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Měřicí jednotka (VIM 1.9) – reálná skalární veličina, definovaná a přijatá konvencí, se kterou může být porovnávána jakákoliv jiná veličina stejného druhu vyjádřením podílu dvou veličin jako čísla.

Základní jednotka (VIM 1.10) – měřicí jednotka, která je přijata konvencí pro základní veličinu.

Odvozená jednotka (VIM 1.11) – měřicí jednotka pro odvozenou veličinu.

Toto je výčet jen základních pojmů týkajících se obecné metrologie. Další pojmy, týkající se konkrétní problematiky, mohou být uvedeny v dalších kapitolách.



Shrnutí pojmů 1.2.

Technická normalizační informace, měření, postup měření, výsledek měření, veličina, měřicí jednotka.



Otázky 1.2.

4. Co je to Technická normalizační informace?
5. Co je to měření?
6. Výsledek měření je údaj výsledku měření včetně nejistoty měření nebo bez nejistoty měření?

2 ZABEZPEČOVÁNÍ METROLOGIE V ČESKÉ REPUBLICE

Tato kapitola má za úkol vysvětlit národní metrologický systém ČR, jeho základní oblasti a vysvětluje vztahy, mezi jednotlivými orgány činnými v ČR. Dále je zde popsán zákon o metrologii, metrologická návaznost a etalony. Jsou zde také popsány jednotky SI soustavy včetně definic, které by měl každý metrolog znát.

2.1 Národní metrologický systém ČR



Čas ke studiu: 1 hodinu



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

- + Co je to Národní metrologický systém.
- + Co je to fundamentální metrologie.
- + Co je to průmyslová metrologie.
- + Co je to legální metrologie



Výklad

Zabezpečování jednotnosti a přesnosti měřidel a měření je základním posláním metrologie. Náklady na měření hodnot fyzikálních a technických veličin a na s ním související činnosti (příkladně technická normalizace, akreditace apod.) představují podle kvalifikovaných odhadů v průmyslově vyspělých státech 4 až 6 % HDP. Na metrologických činnostech se pochopitelně podílejí určeným způsobem jak veřejný, tak i soukromý sektor. Míra toho podílu zpravidla vyplývá z příslušné právní úpravy metrologie v jednotlivých státech a má přímou souvislost s daným ekonomickým a právním prostředím. Metrologická legislativa jako taková je de facto jednou z nejstarších na světě, protože definice jednotek, jejich fyzikální realizace a povinné používání byla základním předpokladem pro rozvoj obchodu a výroby už od pravěku. Tím spíše to ovšem platí dnes v období globalizace. Těž integrita všech pro současnost typických sofistikovaných systémů a technologií značně závisí na přesném měření. Zmíněná právně podložená úprava stanovuje pravidla pro fungování národních metrologických systémů. **Národním metrologickým systémem (NMS)** se rozumí soustava technických prostředků, zařízení a technického personálu a právních a technických předpisů, vymezujících postavení a vzájemné vazby subjektů státní správy a právnických osob pověřených různými činnostmi při zabezpečování jednotnosti a přesnosti měřidel a měření ve státě. Tato technická a administrativní infrastruktura zajišťuje konzistentní a mezinárodně uznávanou základnu měření pro všechny obory státní správy, hospodářství, vědy, ochrany správnosti obchodního styku, ochrany zdraví a životního prostředí. Má zásadní význam:

- pro podporu konkurenceschopnosti domácího průmyslu (uvádí se, že cca 50 % růstu HDP se odvíjí od rozvoje vyspělých technologií, kde hraje metrologie základní roli);
- pro odstraňování technických překážek obchodu, které je do značné míry založeno na mezinárodním uznávání výsledků měření a zkoušek.

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.

Vysoká úroveň metrologické služby je podmínkou fungování všech moderních systémů ve vědě, výrobě, obchodu, dopravě, komunikacích, obraně, ochraně zdraví a životního prostředí. U každé náročnější technologie platí, že to, co nelze změřit, nelze ani vyrobit. Platí to zejména u moderních technologií, označovaných často jak o "high-tech". Progresivní technologie mají přímý vliv na zvyšování podílu přidané hodnoty v ekonomice a na její celkovou konkurenceschopnost. Bez ní nelze dlouhodobě dosahovat růstu národního produktu.



Shrnutí pojmů 2.1.

Národní metrologický systém, fundamentální metrologie, průmyslová metrologie, legální metrologie.



Otázky 2.1.

7. Co je úkolem Národního metrologického systému?
8. Jaké jsou 2 zásadní významy Národního metrologického systému?
9. Vyjmenuj 3 základní oblasti Národního metrologického systému.

2.2 Prvky národního metrologického systému (NMS), jejich postavení a úlohy



Čas ke studiu: 1 hodinu



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- ✚ Pojmenovat, jaké jsou základní prvky národního metrologického systému.
- ✚ Pojmenovat, jaké jsou mezi nimi vztahy.
- ✚ Definovat organizační strukturu NMS.



Výklad

Národní metrologické systémy se konstituovaly jako soustava subjektů, technických prostředků a právních a technických předpisů. Jejich uspořádání je podobné pyramidě v organizaci i v technických záležitostech. Organizačně tvoří vrchol národní metrologické instituty, na ně navazují kalibrační laboratoře průmyslové metrologie (zpravidla akreditované) a výkonné orgány legální metrologie. Základnu pyramidy tvoří kalibrační laboratoře podniků a široký okruh uživatelů měřidel.

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 koncepce (v návaznosti na kompetenční zákon) působí:

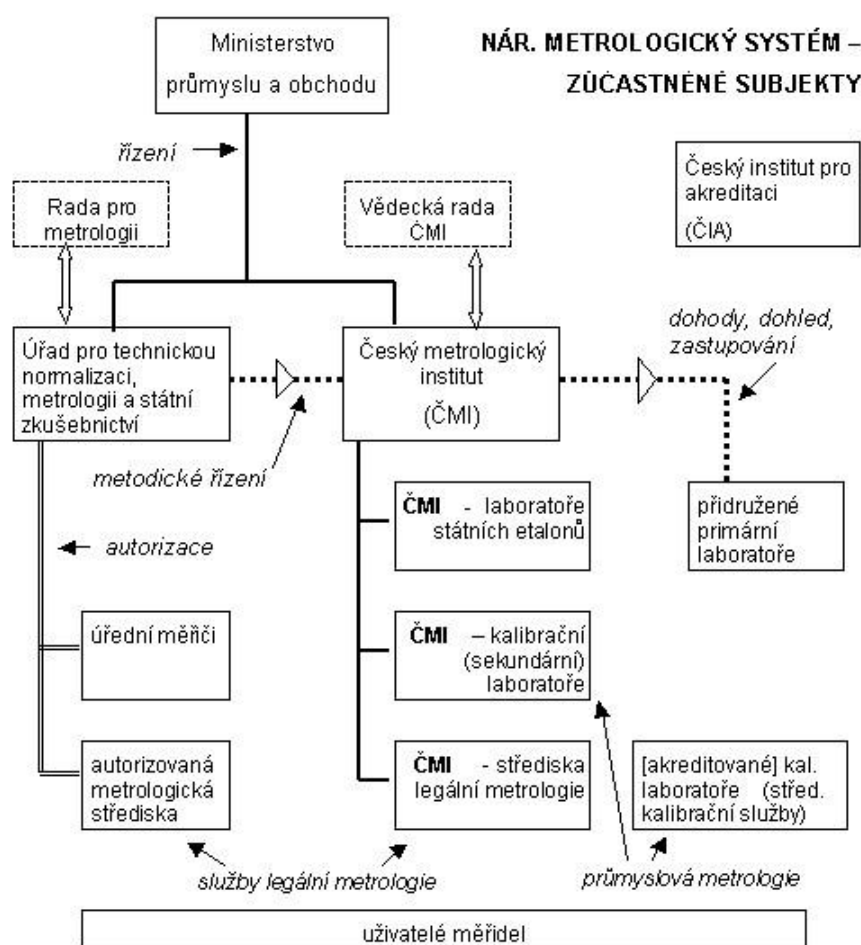
- Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR (MPO) – ústřední orgán státní správy i pro oblast metrologie, především řídí podřízené organizace (ÚNMZ, ČMI apod.)
- Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ, dále též Úřad) - organizační složka státu zřízená MPO, která z pověření MPO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

V širším kontextu má NMS obecně velmi těsnou vazbu na akreditační systém (NMI zajišťují návaznost na nejvyšší úrovni, většina subjektů poskytujících služby v metrologii intenzivně využívá akreditaci), ten je do NMS někdy přímo zahrnován, a svou stimulující a zpětnovazební roli zde jistě hrají dobrovolná sdružení subjektů zainteresovaných na metrologii jako Česká metrologická společnost (ČMS) a České kalibrační sdružení (ČKS). Konceptně je nutné aktivitou veřejného i soukromého sektoru rozvíjet všechny tři segmenty metrologie, uvedené výše – stát zde odpovídá v podstatě za rozvoj v rámci Českého metrologického institutu.



Obrázek 2.1 - Zjednodušené schéma národního metrologického systému ČR

Zjednodušeně je možné vyjádřit vazby mezi prvky systému schématem na obrázku 2.1. Zobrazeny jsou pouze ty nejčastější a nejdůležitější a nejsou uvedeny horizontální vazby, realizované na všech etalonážních úrovních jak o vzájemné mezilaboratorní porovnávání výsledků měření. Zjednodušeně jsou vyjádřeny vztahy k metrologickým institucím jiných zemí. Pro přehlednost jsou ve schématu vynechány vazby na akreditační systém.



Shrnutí pojmů 2.2.

Schéma národního metrologického systému ČR.



Otázky 2.2.

10. Co tvoří vrchol Národního metrologického systému z organizačního hlediska?
11. Které orgány působí v oblasti řízení, legislativy a koncepcí?

2.3 Zákon o metrologii



Čas ke studiu: 3 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- + Popsat měřidla podle zákona o metrologii.
- + Popsat orgány činné v metrologii.
- + Definovat jednotky SI soustavy.



Výklad

Základním stavebním kamenem české legislativy pro metrologii je zákon o metrologii a jeho prováděcí vyhlášky. **Zákonem o metrologii** je zákon č. 505/1990 Sb. ve znění četných pozdějších předpisů. Tento vznikl v letech 1989 až 1990 ve společenských a hospodářských podmínkách odlišných od současnosti, takže je již koncepčně zastaralý, díky celé řadě novel, kterými byla snaha jeho zastaralost „léčit“ je značně nepřehledný a v některých částech není dostatečně pregnantně formulován (např. pojetí stanovených měřidel), což v praxi vyvolává neúměrně velký počet sporů a stížností. V některých detailech není zákon v plném souladu s principy jednotného evropského prostoru (např. kalibrace etalonů).

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

2.3.1 Rozdělení měřidel podle zákona o metrologie

Měřidla souží k určení hodnoty měřené veličiny. Spolu s nezbytnými pomocnými měřicími zařízeními se pro účely tohoto zákona člení na:

- **Etalony** – jsou to měřidla sloužící k realizaci a uchovávání této jednotky nebo stupnice a k jejímu přenosu na měřidla nižší přesnosti. Uchováváním etalonu se rozumí všechny úkony potřebné k zachování metrologických charakteristik etalonu ve stanovených mezích.

- **Pracovní měřidla stanovená** (častěji se používá výraz **stanovená měřidla**) - jsou měřidla, která Ministerstvo průmyslu a obchodu stanoví vyhláškou k povinnému ověřování s ohledem na jejich význam.
- **Pracovní měřidla nestanovená** (častěji se používá výraz **pracovní měřidla**) - jsou měřidla, která nejsou etalonem ani stanoveným měřidlem.
- **Certifikované referenční materiály** a ostatní referenční materiály - jsou to materiály nebo látky přesně stanoveného složení nebo vlastností používané zejména pro ověřování nebo kalibraci přístrojů, vyhodnocování měřících metod a kvantitativní určování vlastností materiálů.

Používání měřidel

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

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

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

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

2.3.2 Orgány činné v oblasti metrologie

Ministerstvo průmyslu a obchodu

- zabezpečuje řízení státní politiky v oblasti metrologie,
- vypracovává koncepce rozvoje metrologie,
- zajišťuje řízení Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví (ÚNMZ).

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

- stanoví 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 úkol 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,

- provádí kontrolu činnosti Českého metrologického institutu,
- kontroluje dodržování povinností stanovených tímto zákonem,
- 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 a subjektů pověřených výkonem úředního měření,
- zveřejňuje ve Věstníku Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví zejména subjekty pověřené k uchovávání státních etalonů, autorizovaná metrologická střediska, subjekty autorizované pro úřední měření, státní etalony, seznamy certifikovaných referenčních materiálů a schválené typy měřidel.

Český metrologický institut (ČMI)

- provádí metrologický výzkum a uchovávání státních etalonů včetně přenosu hodnot měřicích 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 měřicích zařízení a technických zařízení pro využití v elektronických komunikacích,
- poskytuje odborné služby v oblasti metrologie.

Český metrologický institut může:

- povolit předběžnou výrobu před schválením typu měřidla,
- povolit krátkodobé používání stanoveného měřidla v době mezi ukončením jeho opravy a ověřením s omezením této doby.

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.

Státní úřad pro jadernou bezpečnost

Státní úřad pro jadernou bezpečnost provádí u uživatelů měřidel, kteří jsou držiteli v rámci státního dozoru nad radiační ochranou a havarijní připraveností prověřování plnění povinností stanovených tímto zákonem u měřidel určených nebo používaných pro měření ionizujícího záření a radioaktivních látek.

Autorizovaná metrologická střediska

Autorizovanými metrologickými středisky jsou subjekty, které Úřad (ÚNMZ) autorizoval k ověřování stanovených měřidel nebo certifikaci referenčních materiálů po prověření úrovně jejich metrologického a technického vybavení a po prověření kvalifikace odpovědných zaměstnanců. Náležitosti žádosti o autorizaci a podmínky pro autorizaci stanoví ministerstvo vyhláškou. Na udělení autorizace není právní nárok. Neplní-li autorizovaný subjekt povinnosti stanovené zákonem nebo podmínkami stanovenými v rozhodnutí o autorizaci, nebo pokud to požádá, Úřad rozhodnutí o autorizaci pozastaví, změní nebo zruší.

Úřad autorizovanému metrologickému středisku přiděluje, popřípadě odnímá úřední značku pro ověření měřidla.

Jiné subjekty než ty, které jsou k tomu autorizovány, nejsou oprávněny užívat označení autorizované metrologické středisko, a to ani jako součást svého názvu.

Střediska kalibrační služby

Střediska kalibrační služby jsou organizace, které jsou Úřadem pověřena na základě akreditace ke kalibraci měřidel pro jiné subjekty.

Subjekty

Vedou evidenci používaných stanovených měřidel podléhajících novému ověření s datem posledního ověření a předkládají tato měřidla k ověření.

Zajišťují jednotnost a správnost měřidel a měření a jsou povinny vytvořit metrologické předpoklady pro ochranu zdraví zaměstnanců, bezpečnosti práce a životního prostředí přiměřeně ke své činnosti.

Český institut pro akreditaci (ČIA)

- buduje a zajišťuje akreditační systém v ČR v souladu s evropskými normami,
- provádí akreditace zkušebních a kalibračních laboratoří,
- uděluje, odnímá nebo mění osvědčení o akreditaci, rozhoduje o jeho neudělení (pozastavení),
- zabezpečuje a provádí posuzování žadatelů o akreditaci,
- zpracovává, vydává předpisy, metodické pokyny, metodické příručky z oblasti své působnosti.

2.3.3 Základní jednotky SI soustavy

Ke kvalifikaci metrologa by též měly patřit průřezové znalosti o způsobu realizace základních jednotek soustavy SI a jejich vztahu k fundamentálním přírodním konstantám. Tzv. soustava jednotek SI (Système International d'Unités) byla oficiálně přijata 11. Generální konferencí vah a měr v r. 1960. Tato soustava jednotek se sestává ze 7 základních jednotek a odvozených jednotek, přičemž jde o tzv. soustavu koherentní, tj. jednotky jsou vzájemně svázány operacemi násobení a dělení s číselným faktorem, který je vždy roven 1. Z těchto 2 druhů jednotek se pak odvozují jejich násobky a díly pomocí stanovených předpon (výjimku tvoří jednotka hmotnosti kg). Jako desetinný znak se používá buď tečka (angličtina) nebo čárka (francouzština, čeština) podle toho, jak je to v národním jazyku obvyklé. Měřicí jednotky jsou u nás stanoveny zákonem o metrologii v platném znění a vyhláškou MPO č. 264/2000 Sb. a jsou tedy upraveny plně dostačujícím a harmonizovaným způsobem – jde o jednotky SI a některé další jednotky mimo soustavu SI. Je třeba poznamenat, že i všechny země s tzv. imperiálním systémem jednotek (všechny anglosaské země) nyní intenzivně přecházejí na systém SI (V. Británie má výjimku do r. 2010).

Tab. 2.1 – Základní jednotky SI

Veličina	Jednotka	Značka
Délka	metr	m
Hmotnost	kilogram	kg
Čas	sekunda	s
Elektrický proud	ampér	A
Termodynamická teplota	kelvin	K
Látkové množství	mol	mol
Svítivost	kandela	cd

Dále SI obsahuje jednotky odvozené, mezi něž patří (dvě) jednotky doplňkové – jednotka rovinného a prostorového úhlu.

Tab. 2.2 – Odvozené jednotky SI

Odvozená veličina	Odvozená jednotka SI		
	Zvláštní 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	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/s}^2$
Tlak, napětí	pascal	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
Energie, práce, tepelné množství	joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N.m}$
Elektrický potenciál, potenciální rozdíl, napětí, elektromotorické napětí	volt	V	$1 \text{ v} = 1 \text{ W/A}$
Kapacita	farad	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ C/V}$
Elektrický odpor	ohm	Ω	$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$
Elektrická vodivost	siemens	S	$1 \text{ S} = 1 \Omega^{-1}$
Magnetický tok	weber	Wb	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V.s}$
Magnetická indukce	tesla	T	$1 \text{ T} = 1 \text{ W/m}^2$
Indukčnost	henry	H	$1 \text{ H} = 1 \text{ Wb/A}$
Celsiova teplota	Celsiův stupeň ¹⁾	°C	$1 \text{ °C} = 1 \text{ K}$
Světelný tok	lumen	lm	$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd.sr}$
Osvětlenost	lux	lx	$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$
Aktivita (radionuklidu)	becquerel	Bq	$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$
Pohlčená dávka, měrná sdílená energie, kerma, index pohlčené dávky	gray	Gy	$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$
Dávkový ekvivalent, index dávkového ekvivalentu	sievert	Sv	$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$

¹⁾ Celsiův stupeň je zvláštní název pro jednotku **kelvin** užívaný pro udávání **Celsiovy teploty**

Obecně se již několik desítek let sleduje v metrologii trend svázat základní jednotky SI v jejich definicích se základními přírodními konstantami – tím je zajištěna ideální nezávislost jejich realizace na čase a místě. K jednotlivým jednotkám lze podrobněji uvést následující:

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).

Jednotka délky - metr

1 metr (m) je délka dráhy, kterou proběhne světlo ve vakuu za dobu $1/299\,792\,458$ 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).

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.

Jednotka elektrického proudu – ampér

1 ampér (A) je elektrickým 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 $\mu_0, c_0, \epsilon_0 = 1$ 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.

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 k_T . 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 k_T při známé teplotě, ideálně v trojném bodu vody.

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 mono-izotopického 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.

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.

Tab. 2.3 - Názvy a značky násobných a dílčích předpon SI

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



Shrnutí pojmů 2.3.

Etalon, stanovené měřidlo, pracovní měřidlo, certifikované materiály, orgány činné v metrologii, jednotky SI soustavy.



Otázky 2.3.

12. Co je účelem zákona o metrologii?

13. Co jsou to stanovená měřidla?

14. Který z orgánů činných v metrologii má za úkol kontrolovat činnost Českého metrologického institutu?
15. Který z orgánů činných v metrologii má za úkol ověřování stanovených měřidel nebo certifikaci referenčních materiálů?
16. Kolik je základních jednotek SI soustavy?
17. Jsou všechny jednotky SI soustavy založeny na přírodních konstantách?

2.4 Metrologická návaznost a etalony



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- + Pochopit metrologickou návaznost.
- + Popsat základní pojmy týkající se této problematiky.
- + Pochopit řetězec návaznosti.



Výklad

2.4.1 Vymezení pojmů a definic

Návaznost

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

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

Kalibrace

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

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

Etalonem

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

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

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

Primární etalon

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

Mezinárodní etalon

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

Státní etalon

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

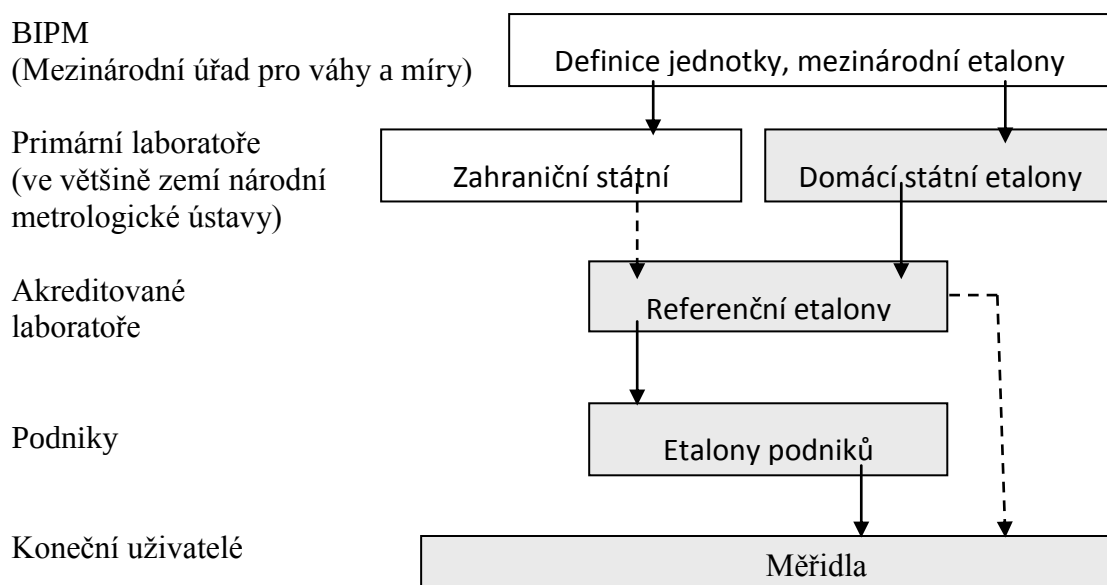
Pozn.: Státní etalony, obvykle na nejvyšší technické úrovni v zemi, jsou zdrojem metrologické návaznosti pro všechna měření pro tu kterou veličinu. Proto se běžně označují jako státní etalony (v anglicky mluvících zemích „national [measurement] standards“). Státní etalon nemusí nutně být etalonem primárním.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

V případě ČR uchovává většinu státních etalonů Český metrologický institut a zmíněné oficiální rozhodnutí činí předseda Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Postup vedoucí k tomuto rozhodnutí je náročný a zajišťuje, že schválený státní etalon má prokazatelnou návaznost na mezinárodní etalony, že jeho technická úroveň je srovnatelná s etalony jiných zemí a že vyhovuje požadavkům Dohody o vzájemném uznávání státních etalonů a certifikátů vydávaných národními metrologickými instituty (MRA). Kromě

metrologických charakteristik se dokumentují a opouští výsledky výzkumu / vývoje, analýza potřeby, mezinárodní porovnání, návaznost, pravidla používání. Posouzení skupinou expertů je veřejné. Stejně náročné je schvalovací řízení projektu na pořízení etalonu.

2.4.2 Řetězec návaznosti

Klasické zabezpečení jednotnosti a správnosti měření předpokládá o vertikální uspořádání řetězce návaznosti, kde jsou mezi etalony postupně rostoucích řádů (primární etalon má řád 0) uvedeny metody přenosu hodnoty veličiny a další charakterizující údaje. Praktická metrologie vede ke zvýraznění potřeby porovnávání etalonů stejných řádů. Výhodou je nejen posílení důvěry mezi dvěma nebo více držiteli těchto etalonů, ale také snazší vysledování případných nedostatků.



Obrázek 2.2 – Řetězec návaznosti

V souvislosti s intenzifikací mezinárodní spolupráce a s ujednáními o vzájemném uznávání metrologických výkonů (a úkonů akreditace) je navíc třeba vysledovat i možné korelace mezi etalony různých institucí a zjistit skutečné zdroje návaznosti. Proto se vedou práce, které mapují souvislosti a cesty návaznosti mezi národními metrologickými institutů a výsledky zaznamenávají v podobě schémat, kterým se říká „air line map“. Cílem je zjistit skutečný stav zajišťování metrologické návaznosti a vyhledat možnosti zjednodušování, až po soustředění některých činností (zejména v oblasti výzkumu a vývoje) do vybraných center a zabezpečování služeb pro partnery z těchto center.

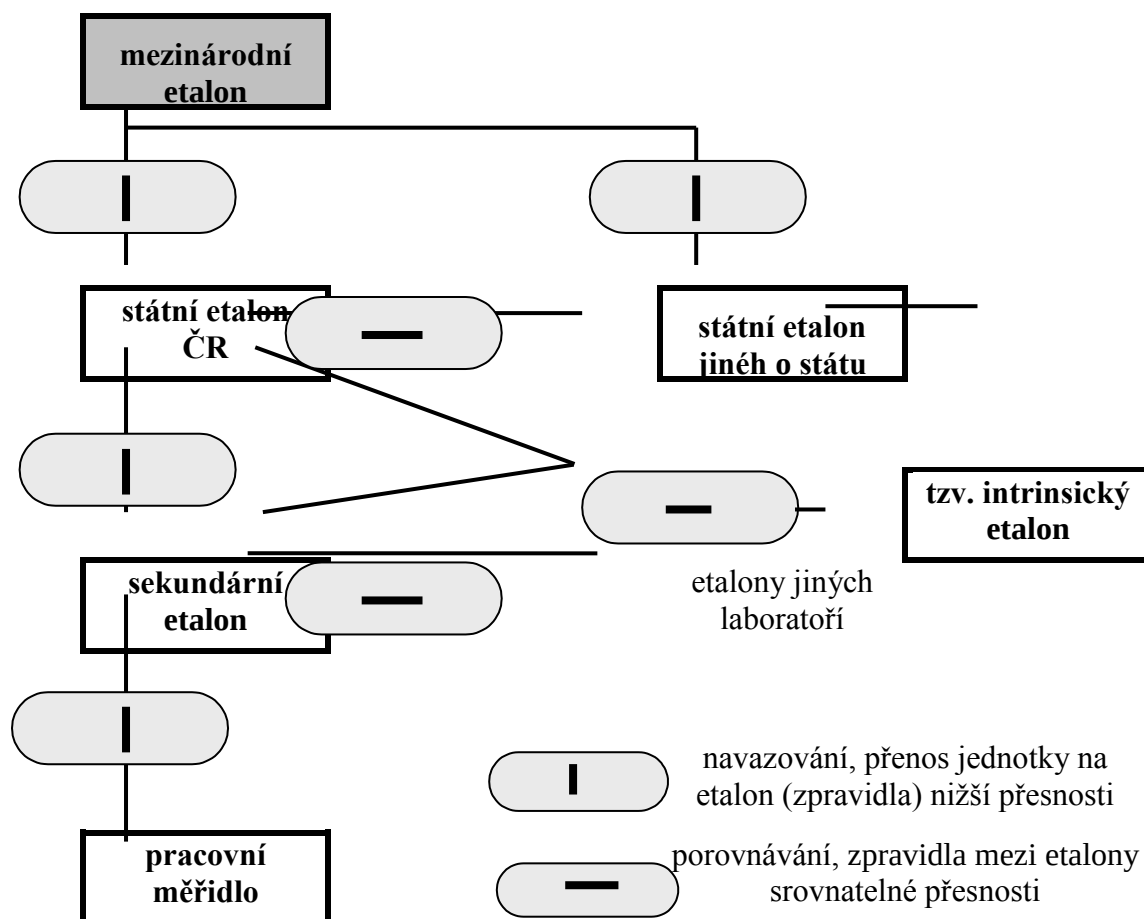
Nejjednodušší představa uspořádání klasické vertikální návaznosti je znázorněna na obrázku 2.2. Podtiskem jsou vyznačeny prvky národní metrologické infrastruktury.

Obdobná schémata byla sestavena pro všechny důležité obory měření a znázorňují velmi názorně zdroje a příjemce návaznosti.

Zavedený způsob zajišťování jednotnosti a správnosti měření prostředky metrologické návaznosti je uspořádání etalonů do tzv. schématu návaznosti. Ve schématu je znázorněna

hierarchie etalonů v řádech s postupně rostoucí nejistotou realizace hodnoty příslušné veličiny. Typické uspořádání je na obrázku 2.3.

Na obrázku jsou znázorněny i horizontální větve – porovnání etalonů na stejné úrovni, které nabývá stále více na důležitosti.



Obrázek 2.3 – Typické schéma návaznosti – levý sloupec v obrázku



Shrnutí pojmů 2.4.

Návaznost, kalibrace, etalon, primární etalon, mezinárodní etalon, státní etalon, řetězec návaznosti.



Otázky 2.4.

18. Co je to státní etalon?
19. Co je to návaznost?
20. Na jakém místě, v řetězci návaznosti, se nachází pracovní měřidla?

3 CHYBY A NEJISTOTY MĚŘENÍ

Cílem této kapitoly je poskytnout základní informace týkající se chyb a nejistot měření a provést všeobecné shrnutí současných poznatků týkajících se vyhodnocování, stanovování a uvádění nejistot měření. V souvislosti s nejistotou měření je třeba zdůraznit, že se na ní podílí celá řada faktorů a že snaha o objektivní podchycení a správné vyhodnocení všech složek nejistoty měření naráží v řadě případů na meze našeho současného poznání příslušného procesu měření.

3.1 Základní pojmy pro chyby a nejistoty měření



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

+ Definovat základní pojmy v oblasti chyb a nejistot měření.



Výklad

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.



Shrnutí pojmů 3.1.

Chyba měření, přesnost měření, opakovatelnost měření, standardní nejistota měření, reprodukovatelnost měření.



Otázky 3.1.

21. Co je to náhodná chyba měření?
22. Je stejný měřicí systém součástí podmínek pro dodržení opakovatelnosti měření?
23. Co je to nejistota měření?

3.2 Chyby měření



Čas ke studiu: 3 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- + Popsat jednotlivé chyby měření.
- + Spočítat náhodné chyby.
- + Definovat náhodné rozdělení.



Výklad

Nedokonalost metod měření, našich smyslů, omezená přesnost měřicích přístrojů, proměnné podmínky měření a další vlivy způsobují, že měřením nemůžeme zjistit skutečnou

hodnotu fyzikální veličiny x_0 . Rozdíl skutečné a naměřené hodnoty nazýváme absolutní chybou měření. Tato chyba má dvě složky – systematickou a náhodnou.

Podle příčin vzniku dělíme chyby do tří skupin.

Systematické chyby jsou způsobeny použitím nevhodné nebo méně vhodné měřicí metody, nepřesným měřidlem či měřicím přístrojem, případně osobou pozorovatele. Tyto chyby zkreslují numerický výsledek měření zcela pravidelným způsobem; buď jej za stejných podmínek vždy zvětšují, nebo vždy zmenšují a to bez ohledu na počet opakovaných měření. Často se navenek neprojevují a lze je odhalit až při porovnání s výsledky z jiného přístroje. Existují i systematické chyby s časovým trendem, způsobené stárnutím nebo opotřebením měřicího přístroje.

Příklady: Při vážení ve vzduchu je v důsledku Archimédova zákona zjištěná hmotnost tělesa vždy menší než skutečná hmotnost pro tělesa, jejichž hustota je menší než hustota závaží.

Systematická chyba vznikla zanedbáním vztahu vzduchu a vhodnou korekcí (korekce na vakuum) ji lze odstranit. Při měření napětí voltmetrem je změřené napětí vždy menší než skutečné, protože voltmetr nemá nekonečně velký vnitřní odpor. Systematická chyba má původ v konstrukci přístroje a lze ji odstranit použitím přístroje s větším vnitřním odporem.

Protože víme, z jakých příčin systematické chyby vznikají, můžeme odhadnout jejich velikost i znaménko a vyhodnocením jejich vlivu na výsledek měření je dovedeme odstranit (zavedením vhodné korekce).

Náhodné chyby, které kolísají náhodně co do velikosti i znaménka při opakování měření, vznikají spolupůsobením velkého počtu náhodných vlivů, které nemůžeme předvídat.

Náhodné chyby jsou popsány určitým pravděpodobnostním rozdělením.

Systematické chyby ovlivňují správnost, náhodné pak přesnost výsledku.

Hrubé chyby (označované jako vybočující nebo odlehlé hodnoty) jsou způsobeny výjimečnou příčinou, nesprávným zapsáním výsledku, náhlým selháním měřicí aparatury, nesprávným nastavením podmínek pokusu apod. Naměřená hodnota se při opakovaném měření značně liší od ostatních hodnot. Takové měření je třeba ze zpracování vyloučit, aby nezkreslovalo výsledek měření.

3.2.1 Náhodné chyby

Na rozdíl od hrubých a systematických chyb, které můžeme správnou metodou měření, přesnými přístroji a pečlivostí práce odstranit, se náhodné chyby vyskytují zcela zákonitě při každém měření a nemůžeme je ovlivnit. Na okolnostech měření závisí, jak se ke skutečné hodnotě veličiny přiblížíme.

Nekontrolovatelné vlivy, které se při opakování měření mění náhodně a nezávisle na vlivech kontrolovaných, jsou příčinou vzniku náhodné chyby. Výsledkem měření je hodnota veličiny x_i , která se od skutečné hodnoty x_0 liší. Jejich rozdíl je chyba měření ϵ ,

$$\epsilon_i = x_i - x_0.$$

Chybu ε_i nemůžeme nikdy stanovit, můžeme ji pouze odhadnout.

Chyba určená jak o rozdíl naměřené hodnoty a skutečné hodnoty veličiny se nazývá absolutní chyba. Vyjadřujeme ji v jednotkách veličiny. Relativní chyba, definována vztahem

$$\varepsilon_{r,i} = \frac{\varepsilon_i}{x_0}$$

je veličinou bezrozměrnou. Často se udává v %.

Náhodné chyby, které při opakování měření kolísají náhodně co do velikosti i znaménka, vznikají spolupůsobením velkého počtu náhodných vlivů, které nemůžeme předvídat. Náhodné chyby se chovají jak o náhodné veličiny a řídí se matematickými zákony počtu pravděpodobnosti. Při velkém počtu opakovaných měření tak statistické zákonitosti můžeme použít k odhadu vlivu náhodných chyb na přesnost měření.

3.2.2 Normální rozdělení

Předpokládáme, že byl korigován vliv systematických chyb.

Vezmeme-li v úvahu četnost, s kterou je daná hodnota naměřena, a vyneseme-li do grafu závislost této četnosti na hodnotě veličiny, zjistíme, že v případě velkého počtu měření $n \rightarrow \infty$ (základní soubor) bude křivka hladká a rozdělení naměřených hodnot dokonale symetrické. Skutečná hodnota x_0 odpovídá maximu křivky (obrázek 3.1). Toto normální (tzv. Gaussovo) rozdělení vychází z předpokladu, že:

- a) výsledná chyba každého měření je výsledkem velkého počtu velmi malých, navzájem nezávislých chyb,
- b) kladné i záporné odchylky od skutečné hodnoty jsou stejně pravděpodobné.

Funkce normálního rozdělení se uvádí nejčastěji ve tvaru

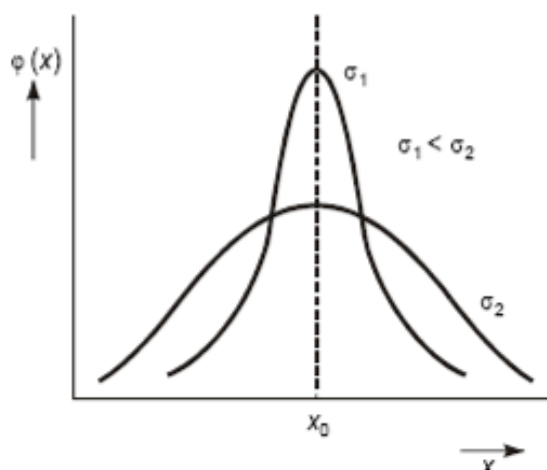
$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2} \right\}$$

kde: σ^2 - rozptyl,

σ - směrodatná odchylka (průměrná odchylka naměřené hodnoty x od skutečné hodnoty x_0),

x - hodnota některého z nekonečné řady provedených měření,

$\varphi(x)$ - hustota pravděpodobnosti hodnot veličiny x .

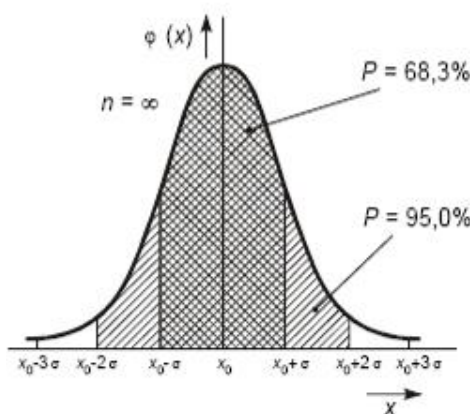


Obrázek 3.1- Gaussovo rozdělení

S pomocí funkce $\varphi(x)$ 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 %, mimo interval $x_0 \pm 3\sigma$ bude pouze 3 promile hodnot.



Obrázek 3.2 - 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,

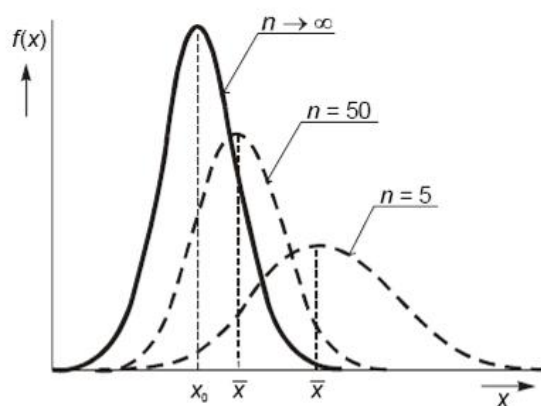
x_i – hodnoty naměřených veličin ($i = 1, 2, \dots, n$).

Jestliže zvětšujeme počet měření, hodnota aritmetického průměru se přibližuje skutečné hodnotě (obrázek 3.3). Přesto nelze opakovaným měřením dosáhnout libovolně velké přesnosti výsledku.

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).



Obrázek 3.3 - 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 obrázku 3.3 vyplývá, že s rostoucím n se hodnota aritmetického průměru přibližuje ke skutečné hodnotě x_0 . Výběrovou směrodatnou odchylku aritmetického průměru vypočteme ze vztahu

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

3.2.3 Systematické chyby

Systematické chyby zkreslují při opakovaném měření za stejných podmínek hodnotu měřené veličiny stále stejným způsobem. Pokud bychom je chtěli vyloučit, museli bychom použít přesnější přístroje nebo zavést korekce. V laboratorním cvičení někdy nelze tento požadavek splnit. Proto provedeme odhad systematických chyb tak, aby maximální chyba, kterou určíme, byla vždy větší nebo nejvýše rovna chybě, které se při měření dopouštíme. Chyby, které se podílejí na systematické chybě, jsou způsobeny omezenou přesností měřicích přístrojů a zařízení, chybou metody a chybou pozorovatele.

Odhad chyby každého měření samozřejmě závisí na konkrétních podmínkách pokusu a experimentální zkušenosti pozorovatele. Měříme-li např. délku, jejíž velikost se nastavuje splněním některých podmínek pokusu, vyskytne se při měření kromě chyby čtení na stupnici ještě chyba v nastavení, která bývá zpravidla mnohem větší než chyba čtení. Obdobně budou chyby čtení na stupnicích elektrických měřicích přístrojů zanedbatelné vůči chybě, zadané výrobcem prostřednictvím třídy přesnosti. Z tohoto hlediska pozorovatel rovněž musí posoudit, zda jsou chyby čtení na stupnici menší než možné chyby náhodné. Pouze v tomto případě lze totiž měření opakováním a statistickým zpracováním zpřesnit. Naopak, dostáváme-li při opakovaných měřeních stále stejné hodnoty, neznamená to, že měříme přesně skutečnou hodnotu, ale že chyba čtení na stupnici je mnohem větší než chyba náhodná a chybu měření musíme odhadnout.

Výrobní údaje

Výrobním údajem o chybě je **třída přesnosti** u elektrických měřicích přístrojů a odporových dekád a výrobní tolerance závaží, odporů, kapacit kondenzátorů apod. U analogových (ručkových) měřicích přístrojů třída přesnosti určuje největší přípustnou chybu, se kterou přístroj měří. Je zadaná v procentech rozsahu celé stupnice a představuje absolutní chybu hodnoty změřené při daném rozsahu. Třída přesnosti 1,5 na stupnici voltmetru s rozsahem 60 V znamená, že každá hodnota změřená na tomto rozsahu je naměřena s absolutní chybou $\pm 0,9$ v (1,5 % z 60 V).

U digitálních (číslicových) měřicích přístrojů je maximální chyba udávaná výrobcem stanovena ze dvou složek. Jedna je závislá na velikosti měřené hodnoty a je vyjádřena v % měřené hodnoty. Druhá je závislá buď na použitém rozsahu anebo vyjádřená počtem jednotek (digitů) nejnižšího místa číslicového displeje na zvoleném rozsahu.

Výrobce udává u měřicího přístroje METEX M-3850 pro měření střídavého napětí v rozsahu 400 mV až 400 V největší přípustnou odchylku 0,8 % z měřené hodnoty a 3 jednotky (digity) nejnižšího místa číslicového displeje. Změříme napětí $U = 49,7$ V. Chyba z procentického údaje je $(0,8/100) \cdot 49,7 = 0,3976$ V. Údaj tři jednotky nejnižšího místa číslicového displeje znamená chybu 0,3 V. Celková chyba $(0,3976 + 0,3) = 0,6976$ v = 0,7 V. Relativní chyba naměřené hodnoty $0,7/49,7 = 0,0140$, tj. 1,4 %.

Výrobní tolerance je rovněž údaj o chybě. Např. výrobní tolerance sady analytických závaží 10^{-4} znamená, že každé závaží této sady má svoji hodnotu zatíženu relativní chybou 0,01 %.

Údaj na odporu $M 1 \pm 15 \%$ znamená, že odpor má hodnotu 100 k Ω v mezích tolerance ± 15 k Ω .

Nemáme-li k dispozici údaje o přesnosti měřidla, musíme sami odhadnout maximální chybu naměřené hodnoty.

Odhad chyby čtení na stupnici

V přesnosti čtení na stupnici přístroje (měřidla) existují jistá omezení. Čtení na stupnici provádíme tak, abychom získali co nejpřesnější výsledek. Nejčastěji se ukazatel velikosti měřené veličiny na stupnici nekryje přímo s žádným dílkem stupnice, ale leží např.

mezi k -tou a $(k + 1)$ - ní dělicí čárkou. Čtená hodnota je větší než k -dílků stupnice a menší než $(k + 1)$ dílek. Pro přesnější výsledek velikost čtené hodnoty v desetinách dílku odhadujeme.

Řídíme se přitom následujícími empirickými zásadami:

- je-li dělení stupnice husté a má-li dělicí čárky (rysky) tlusté (široké), odhadujeme alespoň poloviny dílků,
- jsou-li dělicí čárky dostatečně tenké proti jejich vzdálenostem, je pravidlem odhadovat desetiny nejmenších dílků stupnice,
- je-li stupnice opatřena desetinným noniem - pomocnou stupnicí, čteme přesně desetiny dílku hlavní stupnice a odhadujeme poloviny desetin,
- má-li pomocná stupnice n -tinové dělení ($n > 10$), čteme přesně n -tiny dílku hlavní stupnice a odhadujeme poloviny n -tin.

Čtením na stupnici získáme číselný údaj o hodnotě měřené veličiny s daným počtem platných cifer. Poslední platná cifra je neurčitá, získaná odhadem desetin dílku, a je tedy již zatížena chybou měření.

Při odhadu velikosti chyby čtení vycházíme z uvedených empirických pravidel pro čtení na stupnici:

- odhadujeme-li při čtení polovinu dílku základní stupnice, je přiměřený odhad chyby 0,5 dílku,
- odhadujeme-li při čtení desetiny dílku, přiměřený odhad chyby činí 0,1 až 0,2 dílku,
- má-li stupnice pomocnou stupnici (nonius), je pravidlem odhadovat chybu na polovinu zlomku (n -tiny) dílku, který přečteme přesně.

Příklady odhadu chyb pro některá měřidla jsou uvedeny v tabulce č. 3.1.

Tab. 3.1 – Chyby nejběžnějších měřidel

Měřidlo	Velikost jednoho dílku	Počet dílků pomocné stupnice	Přesnost čtení	Příklad	Odhad chyb
skládací metr	1 mm	-	1 mm	843 mm	± 1 mm
ocelové měřítko	1 mm	-	0,1 mm	174,6 mm	$\pm 0,2$ mm
posuvné měřítko	1 mm	10	0,05 mm	83,65 mm	$\pm 0,05$ mm
mikrometr	0,5 mm	50	0,005 mm	12,115 mm	$\pm 0,005$ mm
stopky	0,1 s		0,1 s	36,9 s	$\pm 0,2$ s
teploměr	0,2 °C	-	0,1 °C	21,5 °C	$\pm 0,1$ °C
stupnice anal. vah	1 d	-	0,5 d	9,5 d	$\pm 0,5$ d
obchodní váhy	5 g	-	2,5 g	324 g	± 3 g



Shrnutí pojmů 3.2.

Systematické chyby, hrubé chyby, náhodné chyby, normální (gaussovo) rozdělení, třída přesnosti.



Otázky 3.2.

24. Co je nutné udělat s naměřenou hodnotou, která je zatížená hrubou chybou?
25. Dá se náhodná chyba číselně vyjádřit?
26. Čemu odpovídá skutečná hodnota při použití normálního rozdělení?
27. Co je nutné udělat, pokud chceme odstranit systematickou chybu měření?

3.3 Nejistoty měření



Čas ke studiu: 8 hodin



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- + Popsat druhy nejistot měření.
- + Definovat pojmy z oblasti nejistot měření.
- + Vyřešit příklady týkající se nejistot měření.



Výklad

Základním parametrem výsledku měření je nejistota měření. Nejistota měření je stanovena na základě kvantifikace příspěvku všech chyb měření (náhodných i systematických), které mohou výsledek měření významně zatížit, a v podstatě vymezuje interval, o němž se s určitou úrovní konfidence předpokládá, že do něj výsledek měření padne. Nejistota měření je neoddelitelnou součástí jakéhokoliv výsledku měření a hraje významnou roli v případech, kdy se výsledky měření vztahují k nějaké mezní hodnotě. Precizní stanovení nejistoty je nutnou součástí správné laboratorní praxe a poskytuje laboratorům i jejich zákazníkům velmi cennou informaci o kvalitě a spolehlivosti měření nebo kvalitativního zkoušení.

Vyjádření výsledku měření je úplné pouze tehdy, pokud obsahuje jak vlastní hodnotu měřené veličiny, tak i nejistotu měření patřící k této hodnotě. Výsledek měření s nejistotou měření se uvádí ve tvaru:

$$Y = y \pm U,$$

kde Y je měřená veličina, y je odhad měřené veličiny a U je rozšířená nejistota měřené veličiny uvedená ve stejných jednotkách.

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

3.3.1 Druhy nejistot

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.

Zdroje nejistot

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

Mezi nejčastější zdroje nejistot patří:

- nedokonalá či neúplná definice měřené veličiny nebo její realizace,
- nevhodný výběr přístroje (rozlišovací schopnost atd.),
- nevhodný (nereprezentativní) výběr vzorků měření,
- nevhodný postup při měření,
- zaokrouhlení konstant a převzatých hodnot,
- linearizace, aproximace, interpolace nebo extrapolace při vyhodnocení,
- neznámé nebo nekompenzované vlivy prostředí,

- nedodržení shodných podmínek při opakovaných měřeních,
- subjektivní vlivy obsluhy,
- nepřesnost etalonů a referenčních materiálů.

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

Bilanční tabulka

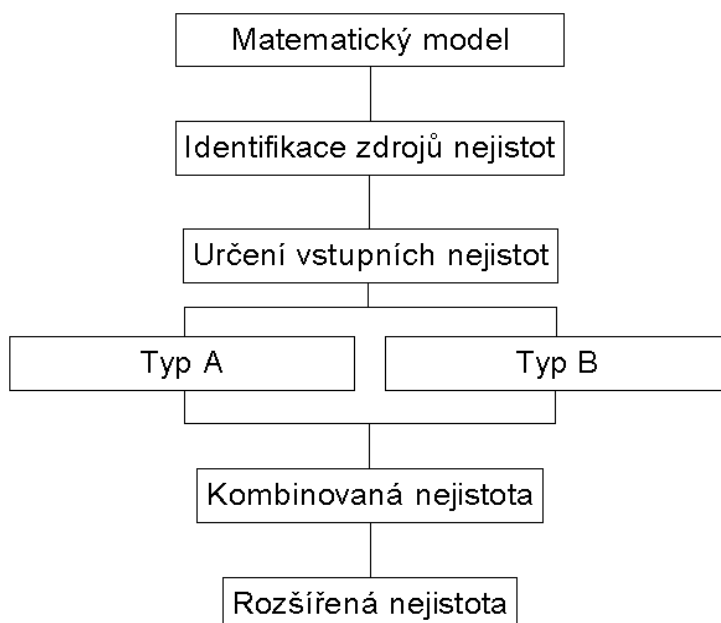
Pro dobrý přehled postupu stanovování nejistot měření a jejich snadné kontrole se výpočty uspořádávají do tzv. bilanční tabulky.

Tab. 3.2 – Bilanční tabulka

Veličina $X_q; Y$	Odhad $x_q; y$	Standardní nejistota $u_q(x)$	Typ rozdělení	Koeficient citlivosti A_q	Příspěvek ke standardní nejistotě $u_q(y)$; nejistota $u(y)$
X_1	x_1	$u_1(x)$	podle situace	A_1	$u_1(y)$
X_2	x_2	$u_1(x)$		A_2	$u_2(y)$
:	:	:		:	:
X_q	x_q	$u_q(x)$		A_q	$u_q(y)$
:	:	:		:	:
X_m	x_m	$u_m(x)$		A_m	$u_m(y)$
Y	y	-	-	-	$u(y)$

3.3.2 Postup při 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.



Obrázek 3.4 - Schéma určení nejistoty měření

Standardní nejistota typu A

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 $x_j' (j = 1, \dots, N)$.

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,

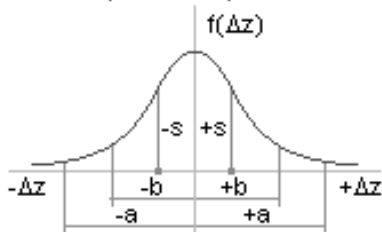
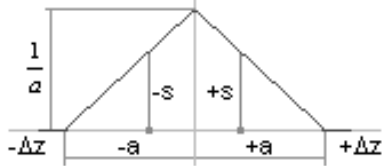
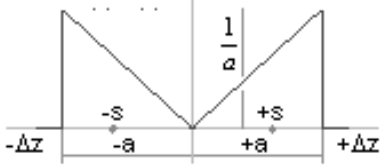
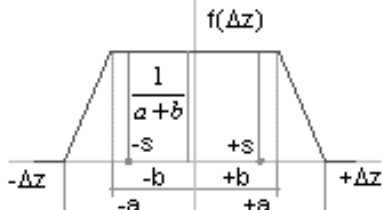
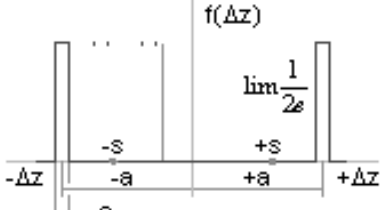
- podmínek měření, především hodnot ovlivňujících veličiny,
- konstant použitých při vyhodnocování,
- vztahů použitých při vyhodnocování.

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 $\frac{z_{j\max}}{\sigma}$, kde σ^2 je rozptyl příslušného rozdělení.

Rozdělení	$z_{\max}$	χ	Rozdělení	$z_{\max}$	χ
normální (Gaussovo)	a	3	rovnoměrné - pravoúhlé	a	$\sqrt{3}$
		2			
trojúhelníkové (Simpsonovo)	a	$\sqrt{6}$	bimodální - (trojúhelníkové)	a	$\sqrt{2}$
					
lichoběžníkové	a	2,32 $b = \frac{a}{3}$	bimodální (Diracovo)	a	1
	a	-2,19 $b = \frac{a}{2}$			
	a	-2,04 $b = \frac{2a}{3}$			

Obr. 3.5 - Druhy rozdělení při určování Standardní nejistoty typu B

3. Přepoččet 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 $A_{x,zj} = 1$.

4. Posouzení možnosti korelací mezi jednotlivými zdroji nejistot a v kladném případě odhad hodnoty hodnot korelačních koeficientů $r_{zj,k}$ z intervalu $<-1; +1>$.
5. 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:

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

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 závislejší 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. 3.3 - 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



Shrnutí pojmů 3.3.

Standardní nejistota typu A, standardní nejistota typu B, kombinovaná nejistota, rozšířená nejistota.



Otázky 3.3.

28. Co vymezuje nejistota měření?
29. Patří nepřesnost etalonů a referenčních materiálů mezi zdroje nejistot?
30. Jaké máme druhy nejistot?



Řešený příklad

Měření průměru válečku posuvným měřítkem

Úkolem je stanovení nejistot měření průměru válečku pomocí posuvného měřítka. Měření se opakuje desetkrát za stejných podmínek.

Naměřené hodnoty:

č. m.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_i [mm]	80,1	80,2	80,1	79,9	80,0	80,2	80,1	79,9	80,0	80,1

Standardní nejistota typu A:

Nejprve se určí odhad hodnoty měřené veličiny, který je roven výběrovému průměru naměřených hodnot:

$$\bar{d} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} d_i = 80,06 \text{ mm}.$$

Standardní nejistota typu A je rovna výběrové směrodatné odchylce výběrového průměru:

$$u_A(d) = \sqrt{\frac{1}{10 \cdot (10-1)} \sum_{i=1}^{10} (d_i - \bar{d})^2} = 0,034 \text{ mm}.$$

Standardní nejistota typu B:

Na standardní nejistotě typu B se podílejí dvě složky: chyba měřidla a chyba obsluhy. U obou těchto chyb se předpokládá rovnoměrné pravoúhlé rozdělení.

Nejistota daná chybou posuvného měřítka:

Z certifikátu vyplývá, že posuvné měřítko má v intervalu měřených délek (0 až 150) mm základní chybu rozlišení 0,05 mm.

Pro nejistotu typu B tohoto zdroje nejistoty potom platí:

$$u_{B1}(d) = \frac{z_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{0,05}{\sqrt{3}} = 0,029 \text{ mm}.$$

Nejistota daná chybou obsluhy:

Do této nejistoty je zahrnuta nedokonalost kolmého ustavení měřidla vůči ose válce, kolísání síly stisku atd., což je vše zahrnuto do celkové osobní chyby s velikostí 0,1 mm.

Nejistoty typu B tohoto zdroje je:

$$u_{B2}(d) = \frac{z_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{0,1}{\sqrt{3}} = 0,058 \text{ mm}.$$

Výsledná standardní nejistota typu B:

Pro stanovení výsledné standardní nejistoty typu B se použije Gaussův zákon šíření nejistot:

$$u_B(d) = \sqrt{u_{B1}^2(d) + u_{B2}^2(d)} = \sqrt{0,029^2 + 0,058^2} = 0,065 \text{ mm}.$$

Kombinovaná nejistota:

Získá se sloučením nejistoty typu a a výsledné nejistoty typu B:

$$u_C(d) = \sqrt{u_A^2(d) + u_B^2(d)} = \sqrt{0,034^2 + 0,065^2} = 0,073 \text{ mm}$$

Rozšířená nejistota:

Rozšířená nejistota je dána vztahem:

$$U(d) = k \cdot u_C(d) = 2 \cdot 0,073 = 0,146 \text{ mm}.$$

Výsledek opakovaného měření průměru válečku:

$$d = (80,06 \pm 0,15) \text{ mm}$$

Bilanční tabulka:

Veličina X_q ; d	Odhad x_q ; d (mm)	Standardní nejistota $u_q(d)$ (mm)	Typ rozdělení	Koeficient citlivosti A_q	Příspěvek ke standardní nejistotě $u_q(d)$; nejistota $u(d)$ (mm)
$\bar{d}$	80,060	0,034	normální	1	0,034
měřidl o $\delta_1(d)$	0,000	0,029	rovnoměrné	1	0,029
obsluha $\delta_2(d)$	0,000	0,058	rovnoměrné	1	0,058
d	80,060	-	-	-	0,073



Řešený příklad

Měření tyče pomocí přesného čárkového měřítka

Úkolem je stanovit délku tyče l a příslušnou nejistotu měření. Délka tyče je 1400 mm a měření je provedeno pomocí přesného čárkového měřítka délky 2 m s dělením po 1 mm (přesný svinovací dvoumetr). Měření se opakuje desetkrát za stejných podmínek. Z certifikátu měřítka vyplývá, že pro jeho tzv. dovolenou chybu $\delta_{dov} = \delta_1 + \delta_2 l$, kde δ_1 je základní chyba, představovaná nejmenším dílkem $\delta_1 = 1 \text{ mm}$ (rozlišovací schopnost). Dále je výrobce definovaná další složka chyby, závislá na velikosti měřené délky: $\delta_2 = f(l) = 2 \text{ mm/m}$. Jiné vlivy jako působení teploty apod., se zanedbávají.

Naměřené hodnoty:

č. m.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l_i [mm]	1405	1403	1402	1400	1404	1406	1405	1404	1402	1404

Standardní nejistota typu A:

Nejprve se určí odhad hodnoty měřené veličiny, který je roven aritmetickému průměru podle vztahu:

$$\bar{l} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} l_i = 1403,5 \text{ mm}.$$

Standardní nejistota typu A je rovna výběrové směrodatné odchylce výběrového průměru:

$$u_A(l) = s_l = 0,563 \text{ mm}.$$

Standardní nejistota typu B:

Na standardní nejistotu typu B má vliv jediný zdroj – chyba měřidla $\delta_{\text{dov}} = \delta_1 + \delta_2 l$, což v tomto případě znamená konkrétně $\delta_{\text{dov}} = 1 + 2 \cdot 1,4 = 3,8 \text{ mm}$. U chyby δ_{dov} , resp. intervalu, který se rozprostře kolem odhadu hodnoty měřené veličiny, se předpokládá opět rovnoměrné pravoúhlé rozdělení. Pak platí:

$$u_B(l) = \frac{3,8}{\sqrt{3}} = 2,197 \text{ mm}$$

Standardní nejistota kombinovaná má potom tvar:

$$u_C(l) = \sqrt{u_A^2(l) + u_B^2(l)} = 2,268 \text{ mm}$$

a po zaokrouhlení:

$$u_C(l) \cong 2,3 \text{ mm}$$

Je vhodné nahradit nejistotu standardní nejistotou rozšířenou, což ostatně odpovídá běžným zvyklostem oboru měření délek. Při použití obvyklé hodnoty koeficientu rozšíření $k_r = 2$.

$$U(l) = k_r \cdot u_C(l) \cong 4,6 \text{ mm}$$

Konečný výsledek opakovaného měření délky tyče je:

$$l = (1403,5 \pm 4,6) \text{ mm}$$

Celý postup lze shrnout do následující bilanční tabulky:

Veličina X_q ; l	Odhad x_q ; l (mm)	Standardní nejistota $u_q(l)$ (mm)	Typ rozdělení	Koeficient citlivosti A_q	Příspěvek ke standardní nejistotě $u_q(l)$; nejistota $u(l)$ (mm)
$\bar{l}$	1403,5	0,6	normální	1	0,6
měřidlo $\delta_1(l)$	-	2,2	rovnorné	1	2,2
l	1403,5	-	-	-	2,3



Řešený příklad

Měření teploty vzduchu proudícího potrubím

Úkolem je stanovení nejistot měření teploty vzduchu proudícího potrubím, pomocí odporového teploměru PT 100 a PC s měřicí kartou Advantech PCL-818H. Bylo provedeno 25 měření za stejných podmínek.

Naměřené hodnoty:

č. m.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T_i [°C]	38,57	38,48	38,57	38,67	38,67	38,57	38,86	38,76	38,48	38,76
č. m.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
T_i [°C]	38,86	38,95	38,76	38,86	38,76	38,76	38,86	38,76	38,76	38,19
č. m.	21	22	23	24	25					
T_i [°C]	39,05	39,24	38,76	36,77	38,95					

Standardní nejistota typu A:

Výběrový průměr naměřených hodnot:

$$\bar{T} = \frac{1}{25} \sum_{i=1}^{25} T_i = 38,67 \text{ °C}.$$

Standardní nejistota typu A je rovna výběrové směrodatné odchylce výběrového průměru:

$$u_A(T) = \sqrt{\frac{1}{25 \cdot (25 - 1)} \sum_{i=1}^{25} (T_i - \bar{T})^2} = 0,089 \text{ °C}.$$

Standardní nejistota typu B:

Na standardní nejistotě typu B se podílejí následující zdroje nejistot:

- Základní chyba snímače teploty
- Doplnková chyba od teploty okolí
- Doplnková chyba linearitativity snímače
- Základní chyba měřicí karty (A/D převodníku)

Základní chyba snímače teploty:

Základní (maximální dovolená) chyba snímače je 0,3 % z nastaveného kalibračního rozpětí. Kalibrační rozpětí snímače s převodníkem je (0 až 150) °C. Platí tedy:

$$z_{\max} = 0,3 \% \text{ ze } 150\text{ }^{\circ}\text{C} = 0,45\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Nejistota typu B toho zdroje je tedy:

$$u_{B1}(T) = \frac{z_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{0,45}{\sqrt{3}} = 0,260\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Doplňková chyba od teploty okolí:

Tato chyba je $\pm 0,02\text{ } \%$ na $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kolísání teploty v laboratoři však po dobu měření nepřekročil o $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, proto lze tuto složku nejistoty zanedbat.

Doplňková chyba linearit převodníku:

Chyba linearit použitého převodníku je $\pm 0,2\text{ } \%$ z nastaveného kalibračního rozpětí:

$$z_{\max} = 0,2 \% \text{ ze } 150\text{ }^{\circ}\text{C} = 0,30\text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$u_{B2}(T) = \frac{z_{\max}}{\sqrt{3}} = \frac{0,30}{\sqrt{3}} = 0,173\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Základní chyba měřicí karty (A/D převodníku):

Základní chyba měřicí karty je dána výrobcem: $\pm 0,02\text{ } \%$ of FSR $\pm 1\text{ LSB}$, což je $\pm 0,02\text{ } \%$ z naměřených hodnot $\pm$ hodnota nejnižšího platného bitu.

$$z_{\max 1} = 0,02 \% \text{ z } 38,67\text{ }^{\circ}\text{C} = 7,734 \cdot 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$z_{\max 2} = \frac{150}{2^{12}} = 0,037\text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$u_{B3}(T) = \frac{z_{\max 1} + z_{\max 2}}{\sqrt{3}} = \frac{7,734 \cdot 10^{-3} + 0,037}{\sqrt{3}} = 0,026\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Výsledná standardní nejistota typu B:

Pro stanovení výsledné standardní nejistoty typu B se opět použije Gaussův zákon šíření nejistot:

$$u_B(T) = \sqrt{u_{B1}^2(T) + u_{B2}^2(T) + u_{B3}^2(T)} = \sqrt{0,260^2 + 0,173^2 + 0,026^2} = 0,313\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Kombinovaná nejistota:

Získá se sloučením nejistoty typu A a výsledné nejistoty typu B:

$$u_C(T) = \sqrt{u_A^2(T) + u_B^2(T)} = \sqrt{0,089^2 + 0,313^2} = 0,325\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Rozšířená nejistota:

Rozšířená nejistota je dána vztahem:

$$U(T) = k \cdot u_c(T) = 2 \cdot 0,325 = 0,650 \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Výsledek opakovaného měření teploty vzduchu proudícího potrubím:

$$T = (38,67 \pm 0,65) \text{ } ^\circ\text{C} .$$

Bilanční tabulka:

Veličina X_q ; T	Odhad x_q ; T ($^\circ\text{C}$)	Standardní nejistota $u_q(T)$ ($^\circ\text{C}$)	Typ rozdělení	Koeficient citlivosti A_q	Příspěvek ke standardní nejistotě $u_q(T)$; nejistota $u(T)$ ($^\circ\text{C}$)
$\bar{T}$	38,67	0,089	normální	1	0,089
Snímač teploty (základní chyba)	0,00	0,260	rovnoměrné	1	0,260
Snímač teploty (chyba linearity)	0,00	0,173	rovnoměrné	1	0,173
A/D převodník	0,00	0,026	rovnoměrné	1	0,026
T	38,67	-	-	-	0,650

4 VLASTNOSTI A ROZDĚLENÍ MĚŘIDEL

Metrologie v překladu znamená „nauka o míře“. Metrologie je vědní a technická disciplína, která se zabývá měřením, měřicími jednotkami, měřicími metodami, technikou měření, správností měření, měřidly a některými vlastnostmi osob provádějících měření. V této kapitole se budeme zabývat měřidly, která se používají ve firmách a jejich rozdělením do jednotlivých kategorií podle zákona č. 505/1990 Sb. a zákon č. 119/200 Sb.

4.1 Vlastnosti měřidel



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

- ✚ Klasifikaci měřidel a měřicích přístrojů.
- ✚ Z čeho se skládá měřicí přístroj.
- ✚ Co jsou to etalony.



Výklad

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.

Měřicí přístroj je měřidlo, které umožňuje převod měřené veličiny na veličinu jinou, nebo na jinou hodnotu té stejné veličiny se specifikovanou přesností, které tvoří celek.

Klasifikace měřidel se dá rozčlenit podle různých kritérií:

- a) 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).
- b) podle formy zaznamenaného údaje,
 - *zobrazovací* – např. ručičkový ampérmetr, posuvné měřidlo.
 - *zapisovací* – např. zapisovací spektrometr, seismograf.
- c) podle charakteru zaznamenaného údaje,

- *analogové* – naměřené údaje jsou spojitou funkcí měřené veličiny.
 - *digitální (číslicové)* – naměřené údaje jsou ve formě hodnoty (čísla).
- d) 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 *měr* – tlakoměr.
 - s názvem *měřeného prostředí* a příponou *měr* – plynoměr.
 - jinak – stopky, váhy.
- e) podle styku s měřenou plochou,
- *dotykové* – přicházejí do přímého kontaktu s měřenou plochou.
 - *bezdotykové* – nepřicházejí do kontaktu s měřenou plochou.

Měřicí přístroj se skládá z více částí. Obsahuje sérii měřících prvků nebo soustavu, které tvoří dráhu měřené veličiny od vstupu až po výstup. Obecně se měřicí přístroj skládá z následujících částí:

- 1) *snímač* – nazýváme též senzor a je to ta část měřidla nebo řetězce, na který působí měřená veličina.
- 2) *zobrazovací zařízení* – je to ta část měřidla, která zobrazuje naměřenou hodnotu. Může být analogový nebo digitální, popř. kombinací obou. Samotné zobrazovací zařízení může dále obsahovat:
 - a) *ukazatel* – může být pevný nebo pohyblivý a jeho poloha vůči stupnici indikuje naměřenou hodnotu.
 - b) *stupnice* – uspořádaný soubor očíslovaných značek stupnice.
Charakteristickými prvky stupnice jsou:
 - *délka stupnice* – je to délka pomyslné čáry, ať skutečné nebo myšlené, která prochází středem všech nejmenších značek. Může být přímá nebo zakřivená.
 - *dílek stupnice* – vzdálenost mezi libovolnými dvěma sousedními značkami stupnice.
 - *délka dílku* – vzdálenost mezi libovolnými sousedními značkami stupnice měřené podél čáry, která určuje délku stupnice.
 - *hodnota dílku* – rozdíl mezi hodnotami stupnice dvou sousedních značek stupnice.
- 3) *záznamové zařízení* – je to část přístroje, která zaznamenává naměřené hodnoty

Zhmotněná míra – je to měřidlo, které během používání trvale vykazuje nebo poskytuje jednu nebo více známých hodnot veličiny. Můžeme sem zařadit např. pravítko s čárkovou stupnicí, závaží, koncovou měрку, apod.

Měřicí převodník – je zařízení, které nám umožňují převod hodnot vstupní veličiny na hodnoty výstupní podle předem daných zákonitostí. Mívají specifické názvy jako zesilovač, transformátor a patří sem i analogové převodníky. Jako příklad lze uvést termočlánek, proudová transformátor, pH elektroda, atd.

Pomocné měřicí zařízení – je to zařízení, které je potřebné na uskutečnění měření, na dosažení přesnosti atd. Nejsou to měřidla samotná ani převodníky, ale jejich použití ovlivňuje výsledek měření. Slouží zejména na udržování měřených a ovlivňujících veličin na požadovaných hodnotách na ulehčení a zkvalitnění měření apod.

Referenční materiál – je materiál nebo látka, jejíž jedna nebo více z charakteristických vlastností jsou dostatečně homogenní a určené tak aby je bylo možné použít na kalibraci aparatury, vyhodnocení měřicí metody nebo určení hodnot materiálu. Může to být čistá látka nebo směs, v plynném, kapalném nebo pevném stavu. Rozšířené jsou zejména v chemii a hutním průmyslu. Pokud má certifikát, který zabezpečuje návaznost, nazýváme ho *certifikovaný referenční materiál*.

Své specifické místo mezi všemi měřidly mají *etalony*. Může to být zhmotněná míra, měřicí přístroj, referenční materiál nebo měřicí systém. Jejich úlohou je definovat, realizovat, reprodukovat nebo uchovávat jednotek fyzikálních veličin, násobku nebo podílu hodnoty této veličiny méně přesným měřidlům. Etalonem může být pouze měřidlo, které splní určité metrologické požadavky. Mezi hlavní patří:

- fyzikální jevy nebo vlastnosti, kterými se jednotka dané veličiny reprodukuje, musí být dobře známé a podložené precizně zpracovanou teorií a experimentem,
- časová stabilita,
- malá závislost na ovlivňujících veličinách,
- technika přenosu na další měřidla musí být fyzikálně realizovatelná.

Měřidlo, které plní funkci etalonu musí splňovat další požadavky:

- používá s výhradně za účelem reprodukce, uchování a přenosu veličiny na další měřidla,
- má potřebné technické a metrologické vlastnosti a je vybavené příslušnou dokumentací,
- je kalibrované, zkoušené a ověřované příslušnou metrologickou organizací na základě vykonaných zkoušek a měření. Toto kalibrování, zkoušení a ověřování se v určitých intervalech opakuje,
- eviduje se jako etalon,
- používá se stanoveným způsobem a určenými osobami,
- uchovává se stanoveným způsobem na určeném místě.

Etalonů lze rozdělit podle několika kritérií:

1) podle hierarchie

- a) *primární etalony* – jsou to etalony, které jsou určené nebo všeobecně uznané jako etalony s nejvyšší metrologickou kvalitou. Jejich hodnota se akceptuje bez vztahu k jiným etalonům stejné veličiny. Reprodukují jednotku dané veličiny s nejvyšší možnou přesností. V hierarchii etalonů jsou na nejvyšším místě. Hodnota jednotky primárního etalonu se určuje z definice jednotky. V případě odvozených jednotek se může hodnota odvozovat od primárního etalonu. Primární etalony nemusí mít pro různé rozsahy hodnot stejnou přesnost.

Existuje ovšem hodnota nebo rozsah hodnot, pro kterou má primární etalon nejvyšší přesnost – tento etalon se někdy nazývá primární etalon jednotky. Sestavu primárních etalonů nazýváme *primární etalonový řád*.

- b) *sekundární etalony* – jsou to etalony, jejichž hodnota je určena porovnáním s primárním etalonem stejné veličiny.

2) podle oblasti použití

- a) *referenční etalony* – jsou to etalony, které uchovávají hodnotu jednotky na příslušné úrovni a reprodukuji ji na etalony nižších řádů. Tyto etalony mají obecně nejvyšší metrologickou kvalitu v dané firmě.
- b) *pracovní etalony* – používají se běžně pro kalibraci, kontrolu nebo ověřování pracovních měřidel. Tyto etalony se kalibrují, zkouší nebo ověřují pomocí referenčních etalonů.
- c) *porovnávací etalony* – používají se jako prostředek při porovnání etalonů mezi sebou nebo s pracovními měřidly.
- d) *přenosné etalony (cestovní)* – jsou určeny na přepravu mezi různými místy.

Mimo tohoto rozdělení lze ještě etalony rozdělit na:

- a) *mezinárodní* – jsou to etalony uznané mezinárodní dohodou, aby sloužili jako základ na určování hodnot jiných etalonů příslušné veličiny.
- b) *národní* – jsou uznané oficiálním rozhodnutím a v daném státě slouží jako základ pro odevzdávání hodnoty jiným etalonům stejné veličiny. Za národní etalony jsou zpravidla prohlášeny primární etalony.



Shrnutí pojmů

Měřicí prostředky, měřicí přístroj, zhmotněná míra, etalon, měřidlo, klasifikace měřidel.



Otázky 4.1.

31. Co jsou to měřicí prostředky?
32. Jak dělíme měřidla dle určení?
33. Jak dělíme měřidla podle zaznamenaného údaje?
34. Jak dělíme měřidla podle charakteru zaznamenaného údaje?
35. Jak dělíme měřidla podle měřené veličiny?
36. Jak dělíme měřidla dle styku s měřicí plochou?
37. Z čeho se skládá měřicí přístroj?
38. Co je to snímač?
39. Co je to zobrazovací zařízení?
40. Co je to ukazatel?

41. Co je to stupnice?
42. Z čeho se skládá zobrazovací zařízení?
43. Co je to záznamové zařízení?
44. Co je to zhmotněná míra?
45. Co je to měřicí převodník?
46. Co je to pomocné měřicí zařízení?
47. Co je to referenční materiál?
48. Jaké požadavky musí splňovat etalon?
49. Jaké známe etalony podle hierarchie?
50. Jaké známe etalony podle oblasti použití?
51. Co je to mezinárodní etalon?
52. Co je to národní etalon?
53. Co je to měřidlo?
54. Co je to měřicí přístroj?
55. Jaký je rozdíl mezi měřidlem a měřicím přístrojem?

4.2 Rozdělení měřidel



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

✚ Rozdělení měřidel podle několika hledisek.



Výklad

Měřidla můžeme rozdělit podle různých hledisek:

- **dle způsobu měření:**
 - měřidla se stálou hodnotou,
 - mezní měřidla,
 - stupnicové měřicí prostředky.
- **dle třídy přesnosti:**
 - etalony - s maximálně dosažitelnou přesností,
 - základní měřidla,
 - laboratorní měřidla,
 - provozní měřidla.
- **dle účelu:**

- měření délky,
- měření úhlů,
- měření a kontrola závitů,
- měření a kontrola ozubených kol,
- měření tvarů,
- měření odchylek tvaru a polohy,
- měření drsnosti povrchu,
- na speciální měření.
- **dle převodu, použitého na zvětšení měřených veličin:**
 - s převodem mechanickým,
 - s převodem elektrickým,
 - s převodem pneumatickým,
 - s převodem optickým,
 - s převodem kombinovaným.
- **dle toho, zda se měřicí dotyk dotýká měřené plochy při měření, nebo ne:**
 - měřidla dotyková,
 - měřidla bezdotyková.
- **dle počtu měřených souřadnic:**
 - jednosouřadnicové měřicí systémy (posuvné měřítko),
 - dvousouřadnicové měřicí systémy (měřicí mikroskop),
 - třísouřadnicové měřicí systémy (třísouřadnicové měřicí stroje).

V dalších kapitolách se budeme zabývat pouze měřením délky a úhlů, jelikož je tato oblast velmi rozsáhlá a rozsah studijní opory omezen. Měřením dalších veličin se budeme zabývat v dalších studijních oporách.



Shrnutí pojmů

Klasifikace měřidel, třídy přesnosti, způsob měření, převod měřidla, účel měření, počet měřených souřadnic.



Otázky 4.2.

56. Jak dělíme měřidla podle způsobu použití?
57. Jak dělíme měřidla podle přesnosti?
58. Jak dělíme měřidla podle účelu?
59. Jak dělíme měřidla podle převodu?
60. Jak dělíme měřidla podle počtu měřených souřadnic?
61. Co řadíme mezi jednosouřadnicové měřicí systémy?
62. Co řadíme mezi dvousouřadnicové systémy?

5 MĚŘENÍ DÉLEK

5.1 Měřidla na principu posuvném



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

- Jak fungují posuvná měřidla.
- Jaké jsou typy posuvných měřidel.
- Jak měří posuvná měřidla a s jakými přesnostmi.



Výklad

5.1.1 Posuvné měřidlo

Posuvné měřidla (obr. 5.1) 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.

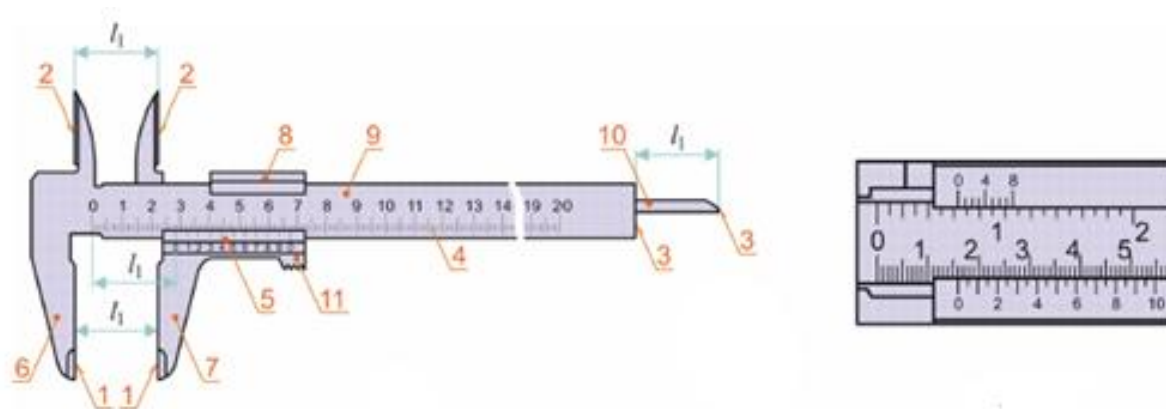
Desetinový (1/10) nonius je stupnice dlouhá 9 mm popř. 19 mm rozdělená na 10 stejných dílků. Poloha počáteční noniové rysky ukazuje na hlavní stupnici počet celých milimetrů a ryska nonia, která je ztotožněná s některou ryskou hlavní stupnice, označuje počet desetin milimetru. Podobné je to při použití 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 číslicový 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 měrky.



a)

b)

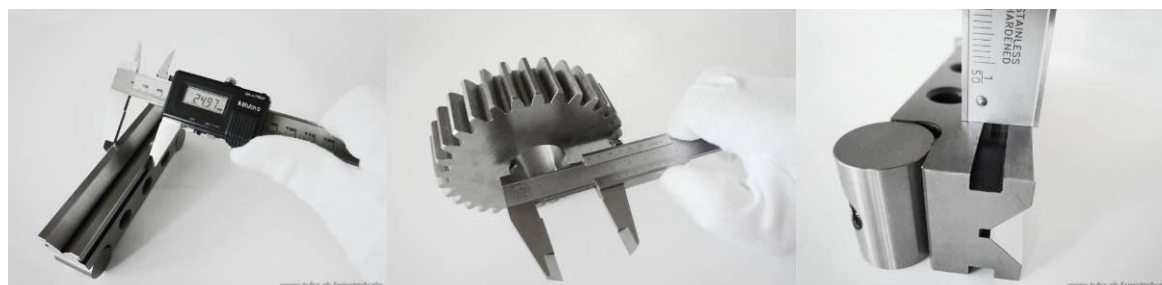
a) všeobecné schéma měřidla, b) zvětšený nonius

Obrázek 5.1 – 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]



Obrázek 5.2 – Digitální posuvné měřidlo [www.whp.cz]



a)

b)

c)

Obrázek 5.3 – Měření vnějšího rozměru (a), vnitřního rozměru (b) a hloubky (c)
[www.tuke.sk/smetrologia]

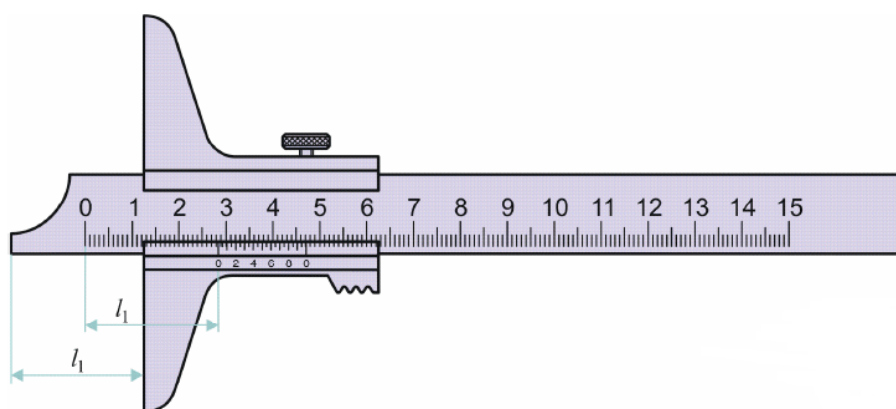
5.1.2 Hloubkoměr a výškoměr

Výškoměry (obr. 5. 4) a hloubkoměry (obr. 5.5) 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 (obr. 5.6). Výhodou je jednoduché odčítání hodnot, nulování stupnice v libovolné poloze, propojení s PC a sběr naměřených dat.



Obrázek 5.4 – Posuvný výškoměr [www.ivl.cz]



Obrázek 5.5 – Posuvný hloubkoměr [Technické meranie, modul 12]



Obrázek 5.6 – Digitální výškoměr a hloubkoměr [www.vltava2009.cz]



Shrnutí pojmů

Posuvné měřidlo, hloubkoměr, výškoměr, nonius.



Otázky 5.1.

63. Co je to nonius?
64. Z jakých částí se skládá posuvné měřidlo?
65. Jaké rozměry se dají měřit posuvným měřidlem?
66. Jaký nejmenší dílek můžou mít mechanická posuvná měřidla?
67. Co je to nádrh?

5.2 Měřidla na principu mikrometrického šroubu

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



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

- + Jak pracují mikrometry.
- + Jaké jsou druhy mikrometrických měřidel.
- + S jakou měří přesností mikrometry mechanické a digitální.



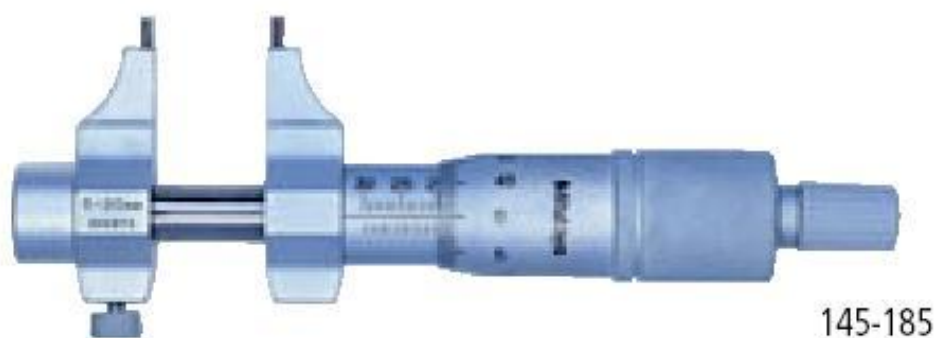
Výklad

5.2.1 Třmenový mikrometr

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.



Obrázek 5.7 – Třmenový mikrometr [www.klz.cz]



Obrázek 5.8 – Vnitřní mikrometr [www.vltava2009.cz]



Obrázek. 5.9 – Digitální mikrometr [www.e-nastroje.cz]

5.2.2 Mikrometrický hloubkoměr a odpich

Jsou jistou modifikací třmenového mikrometru. Pracují na stejném principu mikrometrického šroubu, ale jsou určeny pro speciální měření hloubek otvorů a drážek – hloubkoměry (obr. 5.10) nebo velkých otvorů – odpichy (obr. 5.11). 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 třídítkového mikrometru (obr. 5.12), který má 3 ramena a zajistí tak správnou polohu v otvoru. Nevýhodou je, že se dodává pouze pro úzký rozsah měřených průměrů.



Obrázek 5.10 – Mikrometrický hloubkoměr [www.somex.cz]



Obrázek 5.11 – Mikrometrický odpich včetně nástavců [www.vltava2009.cz]



Obrázek 5.12 – Třídutkový mikrometr (dutinoměr) [www.microtes.cz]



Shrnutí pojmů

Třmenový mikrometr, odpich, mikrometrický hloubkoměr, dutinoměr.



Otázky 5.2.

68. Jaký je princip měření pomocí mikrometrických měřidel?
69. Co je to dutinoměr?
70. Co je to mikrometrický odpich?
71. Jaký je nejmenší dílek u mechanických mikrometrů?
72. K čemu slouží řehťáčka?
73. V jakých rozsazích se dodávají mikrometrická měřidla?
74. S jakou přesností měří zpravidla digitální mikrometry?
75. Může i mikrometr obsahovat nonius?

5.3 Číselníkové úchylkoměry



Čas ke studiu: 0,5 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

- ✚ Jak pracují číselníkové úchylkoměry.
- ✚ Jaké jsou typy a s jakou přesností pracují.



Výklad

Číselníkové úchylkoměry (obr. 5.13) 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 (obr. 5.14) s číslicovým displejem. Moderní digitální úchylkoměry s přenosem dat umožňují rychlé statistické vyhodnocení naměřených dat, což je oproti mechanickým velká výhoda.



Obrázek 5.13 – Číselníkový úchylkoměr Obrázek 5.14 – Digitální číselníkový úchylkoměr
[www.vltava2009.cz]

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



Shrnutí pojmů

Číselníkový úchylkoměr, dotyk.



Otázky 5.3.

- 76. S jakou přesností pracujíc číselníkové úchylkoměry?
- 77. Jak je převeden zdvih dotyku na ručičku ukazatele?
- 78. Jaký by měl být styk dotyku s měřenou součástí?

5.4 Kalibry



Čas ke studiu: 0,5 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

- + Jaké jsou druhy a typy kalibrů.
- + Popis částí kalibru
- + Jak pracuje a jak se rozezná dobrý obrobek, opravitelný a neopravitelný zmetek.



Výklad

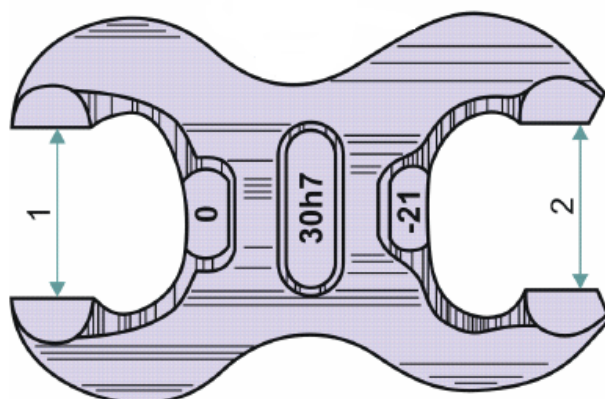
Kalibry (obr. 5.15 a 5.16) nezjišťujeme skutečný rozměr, ani odchylku od jmenovité hodnoty, ale zjišťujeme, zda je kontrolovaná součást dobrá, opravitelná nebo neopravitelná. Kalibry se dělí do 2 skupin:

- *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.



1 – dobrá strana, 2 – zmetková strana

Obrázek 5.15 Mezní kalibr na vnější rozměry [Technické meranie, modul 15]



a)



b)

Obrázek 5.16 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.



Shrnutí pojmů

Kalibr, dobrá strana, zmetková strana, jmenovitý rozměr, dolní mezní rozměr, horní mezní rozměr.



Otázky 5.4.

79. Jak se označuje zmetková strana kalibru?
80. Proč je důležitá teplota okolí a ruky při měření kalibry?
81. Z jakých částí se skládá kalibr?
82. Jaké druhy kalibrů známe?

5.5 Koncové měrky



Čas ke studiu: 0,5 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

- ✚ Co jsou to koncové měrky a k čemu se používají.
- ✚ Z jakých materiálů a v jakých třídách přesnosti se vyrábějí.

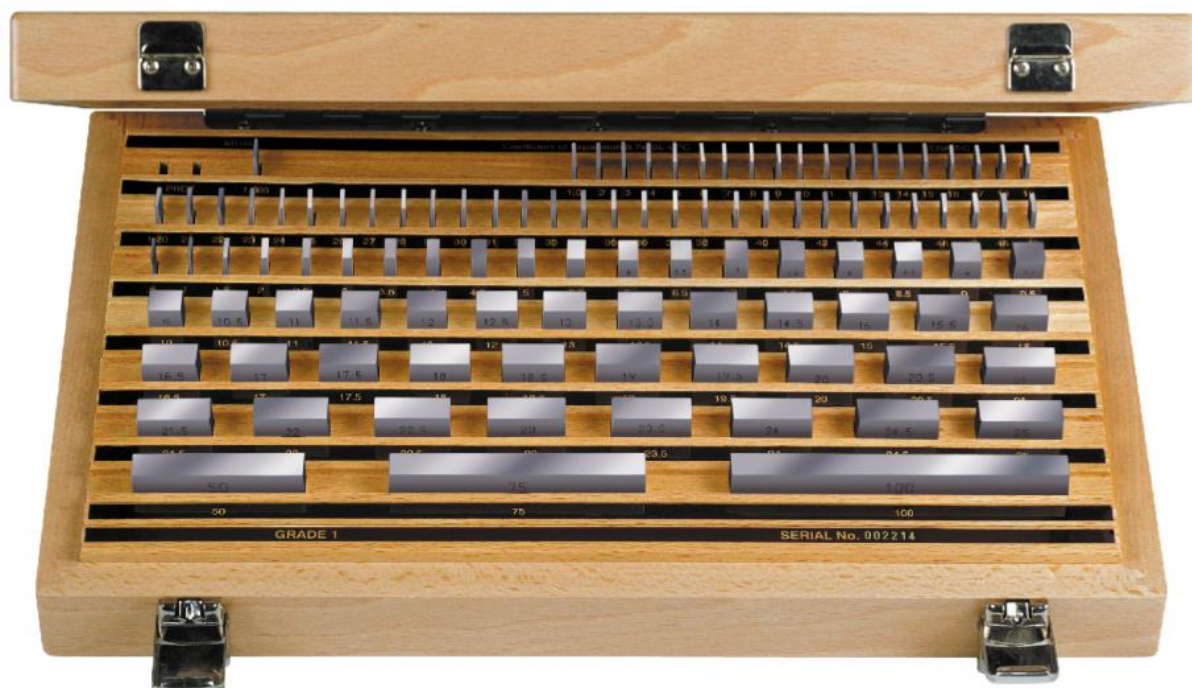


Výklad

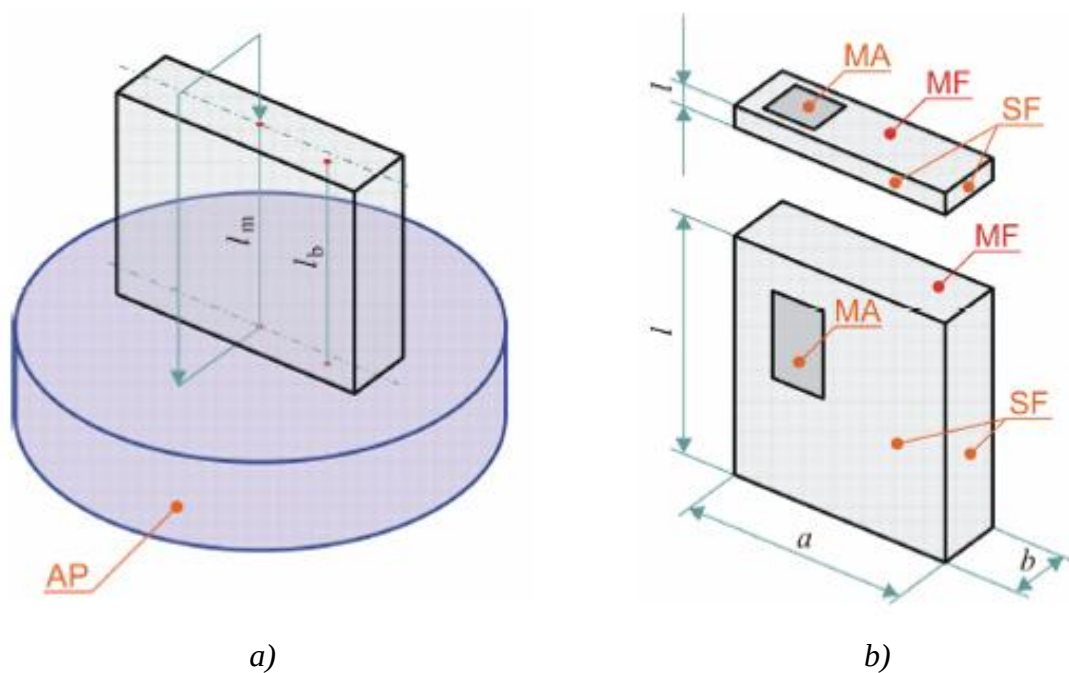
Základné (nebo také koncové) měrky (obr. 5.17) zavedl na konci 19. století Carl Edvard Johansson. Proto se pro koncové měrky používá také pojem Johanssonovy měrky. Základní rovnoměrné nebo úhlové měrky jsou kovové nebo keramické hranoly s garantovaným přesným délkovým nebo úhlovým rozměrem. Základní 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 (obr. 5.17) 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. Na obr. 5.18 je uveden popis koncové měrky.



Obrázek 5.17 – Sada koncových měrek



MA – označení, MF – měřicí plocha, SF – boční plocha, AP – pomocná rovinná destička
Obrázek 5.18 – Popis koncové měrky [Technické meranie, modul 12]

Materiál měrek musí být vysoce odolný proti opotřebení, velmi tvrdý, odolný vůči korozi (kovové měrky se musí konzervovat) s malým koeficientem tepelné roztažnosti a s dobrou přilnavostí. Nejčastěji se používá ocel 19 422, karbid wolframu nebo v poslední době oxidická keramika (nižší tepelná roztažnost a vyšší otěruvzdornost).

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.



Shrnutí pojmů

Koncové měrky, třídy přesnosti, adhezní síla.



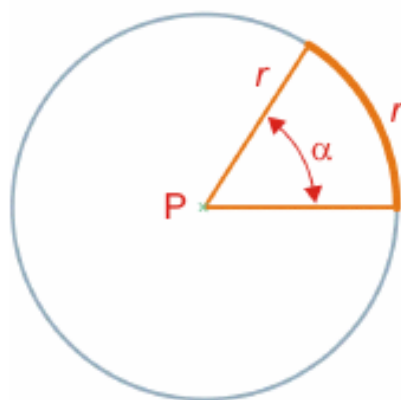
Otázky 5.5.

- 83. Jak se skládají měrky?
- 84. Jakou adhezní silou jsou měrky schopny držet u sebe?
- 85. Proč drží měrky u sebe?
- 86. Jaké jsou třídy přesnosti koncových měrek?
- 87. Z jakých materiálů se vyrábějí koncové měrky?
- 88. Jaké podmínky musí splňovat materiál koncových měrek?

6 MĚŘENÍ ÚHLŮ

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



Obrázek 6.1 – Definice jednotky pro rovinný úhel

r – velikost úhlu v radiánech, α ve stupních.

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

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

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

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

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

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

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

6.1 Principy měření



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

- Jaké jsou metody měření úhlů.
- Jak se rozdělují metody měření úhlů.



Výklad

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

Z praktického hlediska rozdělujeme metody měření úhlů do dvou skupin:

- přímé metody,
- nepřímé (trigonometrické) metody.

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

Mezi přímá měřidla můžeme zařadit:

- uhlové měřky,
- uhelníky,
- úhloměry,
- vodováhy,
- profilprojektory,

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

Mezi měřidla na tomto principu můžeme zařadit:

- sinusové pravítko,
- tangentové pravítko.



Shrnutí pojmů

Úhelník, úhloměr, úhlové měrky, vodováhy, profilprojektory, sinusové pravítko.



Otázky 6.1.

89. Jaké jsou metody měření úhlů?
90. Jaká měřidla řadíme mezi přímé metody měření úhlů?
91. Na jakém principu pracují trigonometrické metody?

6.2 Úhelníky



Čas ke studiu: 0,5 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět
+ Jaké jsou typy úhelníků a jak se s nimi měří.



Výklad

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

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

Ploché uhelník, ve tvaru L (viz obr. 6.2 a), patří mezi nejčastěji používané a slouží na kontrolu a orýsování.

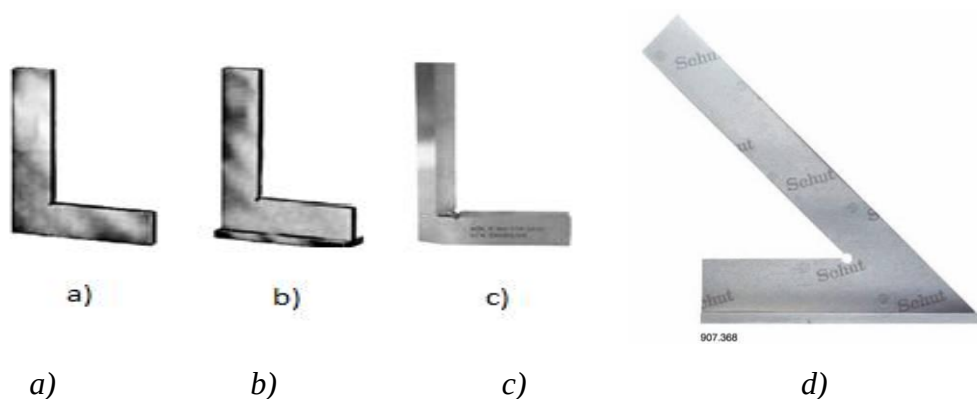
Příložný uhelník je velmi přesný, obsahuje příložnou část, která pomáhá při zpřesnění kontroly a to tak, že se příložná část přiloží na doraz k měřené součásti (viz obr. 6.2 b).

Nožový uhelník (viz obr. 6.2 c), se používá na přesnou kontrolu. Průsvitem je možné kontrolovat odchylky kolmosti a lze jím kontrolovat i broušené plochy. Nožové hrany jsou broušené a lapované, jsou kalené a bez vnitřních pnutí. Vyrábějí se z nerezové oceli.

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

Ramena pravoúhlých úhelníků musí být kolmá i v poloze otočené o 90° . Měření kolmosti a zároveň rovinnosti se kontroluje průsvitem světla mezi ostrím 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.



Obrázek 6.2 - Úhelníky [www.meridla-nastroje.cz]

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



Shrnutí pojmů

Úhelník, nožový, příložný, plochý, kontrolní.



Otázky 6.2.

92. Jaké známe druhy úhelníků?
93. Který z úhelníků je nejpřesnější?

6.3 Úhloměry



Čas ke studiu: 0,5 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

- + Jaké jsou typy úhloměrů.
- + Na jakém principu pracují.
- + Jak se s nimi měří.



Výklad

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

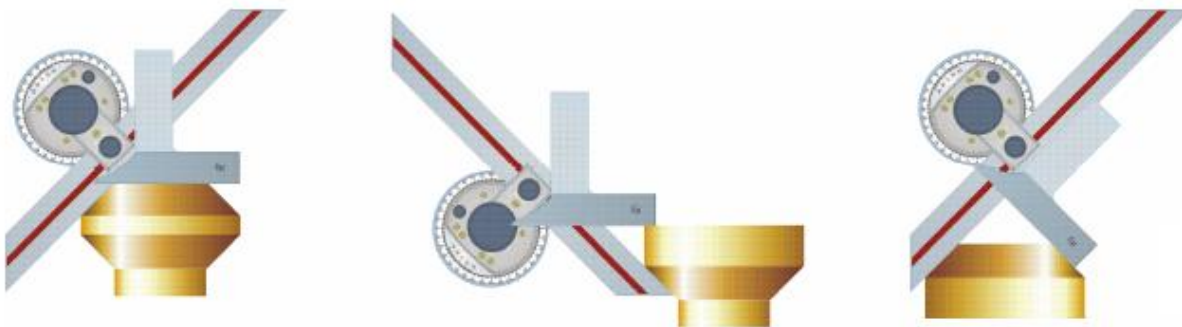
Univerzální úhloměr (viz obr. 6.3 a) má schopnost změřit libovolný úhel s nejistotou menší než $5'$. Skládá se z pevného a pohyblivého pravítka. Na pevném rameni je pod pravým úhlem umístěn pevný kotouč, rozdělený 4x po 90° po 1° . Hrany ramena úhloměru jsou rovnoběžné s nulovými ryskami stupnice na tomto kotouči. Pevné a pohyblivé rameno se těsně přikládají k měřené ploše a jejich správné uložení se kontroluje průsvitem. Naměřený úhel se odečítá na stupnici (nonius), která je součástí pohyblivého kotouče. Pohyblivý kotouč se otáčí kolem osy pevného kotouče a po nastavení úhlu se zafixuje maticí. Příklady měření a použití univerzálního úhloměru jsou na obr. 6.4.

Digitální úhloměr (viz obr. 6.3 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 – $4 \times 90^\circ$, $2 \times 180^\circ$ nebo $1 \times 360^\circ$, přičemž nejistota měření dosahuje $1,15'$ nebo $0,01^\circ$. Pohyblivé rameno má délku 150, 200, 300 nebo 500 mm. Výhodou digitálního úhloměru je, že umožňuje nulování v libovolném natočení, nebo ho lze upevnit do stojanu a tím doplnit rameno v závislosti zda se jedná o měření malých nebo velkých úhlů, popř. vnitřních úhlů.



Obrázek 6.3 – Úhloměry a) univerzální, b) digitální [<http://www.microtes.cz>]

Optický úhloměr (viz obr. 6.5), je svou konstrukcí podobný jako mechanický úhloměr, ovšem odečítání, probíhá pomocí okuláru. Při natočení úhloměru na světlo se v okuláru zobrazí stupnice, pomocí níž je možné odečítat úhel na desítky minut ($1/6$ stupně).



Obrázek 6.4 – Příklady měření univerzálním úhloměrem



Obrázek 6.5 – Optický úhloměr [www.quido.cz]



Shrnutí pojmů

Univerzální úhloměr, digitální úhloměr, optický úhloměr.



Otázky 6.3.

94. Jaké jsou typy úhloměrů?
95. V jakých jednotkách zobrazuje optický úhloměr?

6.4 Úhlové měrky



Čas ke studiu: 0,5 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

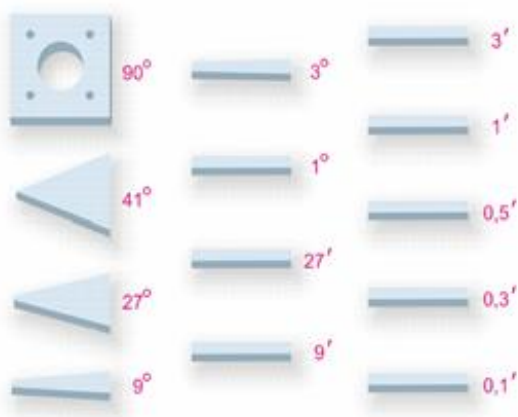
- ✚ Co jsou to úhlové měrky a jak se s nimi pracuje.



Výklad

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. 6.6)

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



Obrázek 6.6 – Příklad úhlových měrek [Technické meranie, modul 15 a www.micrates.cz]

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.



Shrnutí pojmů

Úhlové měrky, etalon úhlu.



Otázky 6.4.

96. Jak se používají úhlové měrky?
97. Mohou se úhlové měrky využít jako odrazová plocha na optická měření?

6.5 Vodováhy



Čas ke studiu: 0,5 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

✚ Jaké jsou typy vodvah a jak se s nimi pracuje.



Výklad

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. 6.7. 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.



strojní (přesná)

křížová

rámová

Obrázek 6.7 – Typy vodovah [www.euronaradie.sk, www.sometcz.com]

Vyrábějí se i vodováhy optické, u kterých se odčítá hodnota v okuláru nebo digitální (obr. 6.8).



Obrázek 6.8 – Digitální vodováha [www.whp.cz]



Shrnutí pojmů

Optická vodováha, přesná (strojní) vodováha, křížová vodováha, rámová vodováha.



Otázky 6.5.

98. Jaké známe typy vodovah.
99. Jaký je rozdíl mezi vodováhou a libelou?
100. Proč jsou na některých libelách prizmatické plochy?

6.6 Sinusové pravítko



Čas ke studiu: 0,5 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

- + Co je to sinusové pravítko.
- + Na jakém pracuje principu.
- + K čemu se používá.



Výklad

Sinusové pravítko (viz obr. 6.9), je přesně vyrobená součást, která se využívá pro přesné nastavení úhlu horní roviny pravítka. Nejčastěji se jimi měří na nepřímě měření sklonu na součástech jako klíny nebo kužely a na nastavení přesného naklopení obráběného materiálu při výrobě. Dále se mohou využít pro kontrolu přesnosti 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.



Obrázek 6.9 - Sinusové pravítka [www.sav-czech.cz]



Shrnutí pojmů

Sinusové pravítko.



Otázky 6.6.

101. K čemu slouží sinusové pravítko?
102. Čím se podkládá sinusové pravítko?
103. Na jakém principu nebo funkci sinusové pravítko pracuje?

6.7 Profilprojektory



Čas ke studiu: 0,5 hodiny



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

- + Co je to profilprojektor.
- + Jaké jsou metody promítání obrazu a k čemu se používá.



Výklad

Profilprojektor (obr. 6.10) je optický přístroj, který promítá obraz reálné součásti na matnici nebo promítací plochu. Často se používá na kontrolu tvarově složitých součástí, popř. na kontrolu malých rozměrů. Zvětšení projektorů bývá 10x až 100x, ve speciálních případech až 1000x. Kontrolované součásti je možno pozorovat v odraženém (episkop) nebo procházejícím (diaskop) světle, popř. v kombinaci obou. Chyba zvětšení by neměla přesáhnout 1,5%. Zvětšený obraz je možno přeměřovat nebo kontrolovat pomocí šablon se jmenovitým tvarem a tolerančními hranicemi, které slouží pro porovnání. Tento způsob kontroly je velmi rychlý. Diaprojekce (pozorování procházejícím světlem) je častěji používaná metoda, ale je vhodná spíše pro ploché součástky. Obrys součásti se promítne na

matnici jako stínový obraz. Při epiprojekci (pozorování odraženým světlem) je potřebné osvětlit kontrolovanou stranu silným zdrojem světla ze strany objektivu. Je to metoda vhodná pro plochy kolmé k optické ose. Podmínkou dobrého obrazu je, aby pozorovaná součást dobře odrážela světlo. Na matnici se promítá zvětšený obrazec plochy součásti. Při kombinaci obou metod můžeme vidět obrys i povrch součásti současně.



Obrázek 6.10 – Profilprojektor [www.mitutoyo.cz]



Shrnutí pojmů

Profilprojektor, diaprojekce, epiprojekce.



Otázky 6.7.

104. Na jakém principu pracuje profilprojektor?
105. Jaké světlo využívá diaprojekce?
106. Jaké světlo využívá epiprojekce?
107. Jaký je rozdíl mezi diaprojekcí a epiprojekcí?

7 METROLOGICKÝ SYSTÉM FIRMY

Pod pojmem metrologický systém firmy se rozumí vypracování systému, podle kterého bude firma fungovat, tak aby dosáhla kvalitní výroby. Tento systém lze rozdělit do šesti etap:

- **0. ETAPA** – Vybudování metrologického systému firmy.
- **1. ETAPA** – Shrnutí vstupních aspektů metrologického systému a jejich analýza.
- **2. ETAPA** – Uspořádání systému, tvorba a popsání v metrologickém řádu.
- **3. ETAPA** – Realizace (Prosazení poznaného a nastaveného systému ve firmě).
- **4. ETAPA** – Vyhodnocení získaných zkušeností a posouzení ekonomické efektivity metrologických činností.
- **5. ETAPA** – Údržba a rozvoj metrologického systému firmy.

7.1 0. ETAPA – Vybudování metrologického systému firmy



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

- Co je to cílem vybudování metrologického systému firmy.
- Co by měla splňovat osoba zodpovědná za zavedení metrologického systému ve firmě.



Výklad

Cílem je vybudování metrologického systému firmy a nejprve je potřeba ho důkladně prozkoumat. Je vhodné zvolit osobu, která bude zodpovědná a pověřená vedením firmy k vybudování tohoto metrologického systému. Může to být buď zaměstnanec, nebo externí osoba, se kterou bude uzavřena smlouva. Zpravidla to bývá nastávající metrolog firmy.

Odpovědná osoba by měla splňovat následující požadavky:

- odpovídající kvalifikace,
 - odborné vzdělání,
 - speciální znalosti,
 - školení,
 - literatura,
- studium a znalost základní literatury k dané problematice.

V případě, že uvedená osoba nemá potřebné odborné vzdělání a specifické znalosti o metrologii, je potřebné, aby se zúčastnila základního školení pro metrology firem. Zároveň by uvedená osoba měla shromáždit a prostudovat si základní odbornou literaturu z metrologie, právní předpisy, technické normy a předpisy, případně další náležité dokumenty.



Shrnutí pojmů

Metrologický systém firmy, zodpovědná osoba.



Otázky 7.1.

108. Jaké požadavky musí splňovat zodpovědná osoba za zavedení metrologického systému firmy?
109. Kdo bývá zpravidla zodpovědná osoba?
110. Co je možné udělat, pokud nemá pověřená osoba odpovídající znalosti?

7.2 1. ETAPA – Shrnutí a analýza vstupních aspektů metrologického systému



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

- ✚ Jaké jsou vstupní aspekty.
- ✚ Jak vykonat analýzu vstupních aspektů.



Výklad

Po shrnutí všech náležitostí z první etapy, je možná přejít k vlastnímu řešení požadavků na měření a měřidla. Na základě toho vyhodnotíme vstupní aspekty a provedeme jejich analýzu:

Mezi **vstupní aspekty** řadíme následující hlediska:

- požadavky na měření, které jsou stanovené technologickými postupy a předpisy, nebo technickými předpisy (výkresy, normy) na daný výrobek, nebo službu,
- požadavky na měření, které jsou stanovené obecně závaznými právními předpisy,
- soupis měřicích prostředků (inventura existujících měřidel).

Dále je nutné vykonat **analýzu vstupních aspektů**, kam řadíme:

- volba měřidla – pro zajištění kvality výroby (služby) a podpůrných činností,
- volba měřidla – pro zajištění požadavků právních předpisů,

- analýza účelu použití měřidel a jejich rozčlenění na:
 - etalony,
 - pracovní měřidla,
 - stanovená měřidla,
 - referenční materiály,
- popis legislativních a technických věcí.



Shrnutí pojmů

Vstupní aspekty, etalon, pracovní a stanovené měřidlo, referenční materiál.



Otázky 7.2.

111. Co řadíme mezi vstupní aspekty při zavádění metrologického systému firmy?
112. Co řadíme mezi analýzu vstupních aspektů?
113. Jaké je rozdělení použití měřidel?

7.3 2. ETAPA – Uspořádání systému, tvorba a popsání v metrologickém řádu



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

- + Stanovit cíle a prostředky pro zavedení metrologického systému.
- + Co musí být vypracováno pro zavedení metrologického systému ve firmě.
- + Co by měla obsahovat evidence měřidel.



Výklad

V další etapě je hlavní úlohou stanovit si cíl, jak uspořádat metrologický systém firmy a následně stanovit postupy uspořádání a popsání metrologického systému. Dále vypracovat cílový soubor měřidel, založit evidenci měřidel a rozhodnout o zajištění jejich metrologické návaznosti.

Stanovení cílů a prostředků:

- **Cíl:** nastavit a popsat metrologický systém
 - úplné poskytnutí podpory činnosti firmy,
 - respektování legislativy,

- důvěryhodný systém firmy (pro lidi ve firmě, pro zákazníky),
- **Prostředky:** metrologický řád firmy – reflektuje na požadavky a principy (relevantních částí ČSN EN ISO 9001:2000 a ČSN EN ISO 10 012).

Současně musí být vypracováno:

- evidence měřidel,
- rozhodnutí o kategorizaci měřidel,
- rozhodnutí o metrologické návaznosti.

Evidenci měřidel (je výhodné je aby ji spravoval vhodný software, který by měl mimo jiné obsahovat):

- seznam stanovených měřidel,
- identifikace kategorií měřidel,
- způsob metrologické návaznosti (při zavádění volit externí návaznost, pokud firma nemá interní kalibrační laboratoř),
- stanovit období platnosti kalibrace – pracovních měřidel a etalonů (kvalifikovaným odhadem, přesnost a robustnost měřidel, četnosti použití, prostředí užívání, inteligence uživatelů, doporučení výrobce, doporučení kalibrační laboratoře, popř. stáří měřidla apod.).
- schémata návaznosti (zpřehlednit způsob navázání a odhalit „černé díry“).



Shrnutí pojmů

Cíle a prostředky, evidence měřidel.



Otázky 7.3.

114. Jaké jsou cíle pro vybudování metrologického systému firmy?
115. Jaké normy reflektuje metrologický řád firmy?
116. Co by měla obsahovat evidence měřidel?
117. Kdo nebo co by měl spravovat evidenci měřidel?
118. Jak se stanovuje období platnosti kalibrace?

7.4 3. ETAPA – Realizace poznatého a nastaveného systému ve firmě



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- + Prosadit metrologický systém firmy.
- + Osvojit metrologický systém ve firmě.
- + Co je nutné pro zabezpečení měřidel.
- + Variantu outsourcing.



Výklad

V další etapě by mělo následovat obhájení „inovovaného“ metrologického systému a prosazení metrologického systému a jeho důsledků.

- **Vysvětlením a schválením inovovaného metrologického systému firmy se rozumí:**
 - seznámit vrcholový management (vedení) s návrhem,
 - schválení návrhu vrcholovým managementem.
- **Poznáním a osvojením zodpovědnosti, pravomoci a mechanismů systému se rozumí:**
 - interní proškolení firmy,
 - zahájení interního auditu metrologického systému,
 - „odvaha“ k vymáhání důsledků nálezů.
- **Zabezpečení chybějících měřidel:**
 - vyplývá z konfrontace mezi cílovými soubory měřidel a skutečností ve firmě.
- **Zajištění aktuální metrologické návaznosti.**
- **Zabezpečení měřidel:**
 - postup - při volbě měřidla, dodavatele a podmínek pořízení měřidla dodají:
 - podmínky používání,
 - zajištění servisu a oprav,
 - metrologickou návaznost,
 - ochrana zájmů,
 - vyžádání technických informací,
 - zvážit režim servisu a kalibrace.
- **Varianta OUTSOURCING:**
 - promyslet a rozhodnout se o alternativách, popř. zvážit změnu jiné firmy!!

Výhody: vše řídí firma - bez problémů, zodpovědnost, doba kalibrace.

Nevýhody: firma si vše určuje.



Shrnutí pojmů

Realizace metrologického systému, zabezpečení měřidel, outsourcing.



Otázky 7.4.

119. Co se rozumí schválením metrologického systému do firmy?
120. Co je nutné pro zabezpečení měřidel?
121. Co znamená outsourcing?
122. Jaké má výhody a nevýhody outsourcing?
123. Co se rozumí osvojením metrologického systému?

7.5 4. ETAPA – Vyhodnocení získaných zkušeností a posouzení ekonomické efektivity metrologických činností.



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

- + Analýzu správnosti metrologických činností a závěry z nich.
- + Závěry vlastního metrologického střediska a ověření úspěšnosti realizace vlastní metrologické laboratoře.



Výklad

Tato část etapy by se měla zabývat vyhodnocení zkušeností z provozu metrologického systému a posouzení metrologické efektivity.

- **Analýza správnosti a efektivity metrologických činností:**
 - analýza správnosti a optimálnosti procesu měření,
 - analýza reálných nejistot měření v konfrontaci s požadavky technologickými a technickými v právních předpisech,
 - analýza z přezkoumání z činností, tj. rozhodnutí o úpravách systému a systémové dokumentace.
- **Závěry z analýzy a rozhodnutí o opatřeních:**
 - rozhodnutí o kalibraci,
 - úpravy v systému,
 - nové doby kalibrace,
 - rozhodnutí o případné vlastní kalibraci.

- **Závěr vlastního metrologického střediska o změnách kalibrace:**
 - vytvoření provozního řádu laboratoře – tzv. laboratorní řád, (najít odpověď na každý požadavek – článek normy ČSN EN ISO/IEC 18025),
 - vlastní kalibrační postupy,
 - vlastní prostory laboratoře (teplota, klimatizace, vibrace, apod.),
 - technické prostředky a kvalifikovaný personál (tzv. etalony, zařízení, pomůcky apod.),
 - zpracovat rozbor předpokládané ekonomické efektivity,
 - disponovat s kvalitním personálem, který je kvalifikovaný.
- **Schválení a realizace záměru.**
- **Ověření úspěšnosti realizace projektu vlastního metrologického střediska**
 - certifikuje se celá firma – tj. prokázání způsobilosti metrologického systému v rámci certifikace systému managementu dle ISO 9001:2000,
 - laboratoř se akredituje podle normy ČSN EN ISO/IEC 17025,
 - případně úspěšná účast v „mezilaboratorním“ porovnání.



Shrnutí pojmů

Analýza správnosti a efektivnosti, závěr z analýzy, schválení a realizace záměru, ověření úspěšnosti realizace.



Otázky 7.5.

124. Co patří mezi analýzu správnosti a efektivnosti metrologických činností?
125. Co patří mezi závěry z analýzy?
126. Co patří mezi závěry z metrologického střediska?
127. Jak ověřit úspěšnou realizaci vlastního metrologického střediska?

7.6 5. ETAPA – Údržba a rozvoj metrologického systému



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

- + Co je cílem pro systém dokumentace.
- + Co je cílem pro personál.
- + Co je cílem pro měřidla.
- + Co je cílem pro prostředí metrologického systému.



Výklad

Cílem je zajištění trvalého rozvoje systému, pomocí:

- **Systém dokumentace:**
 - aktualizace systémové dokumentace,
 - audity přezkoumání vedením,
 - preventivní opatření a opatření k nápravě.
- **Personál:**
 - údržba a zvyšování kvalifikace personálu,
 - prokazování způsobilosti personálu.
- **Měřidla:**
 - údržba a rozvoj technologického parku měřidel,
 - metrologická návaznost měřidel,
 - validace metod,
 - mezi laboratorní srovnávání.
- **Prostředí:**
 - údržba a rozvoj prostředí,
 - monitoring prostředí.



Shrnutí pojmů

Systém dokumentace, personál, měřidla, prostředí.



Otázky 7.6.

128. Jaké jsou požadavky na systém dokumentace?
129. Jaké jsou požadavky na personál?
130. Jaké jsou požadavky na měřidla?
131. Jaké jsou požadavky na prostředí?

7.7 Schéma postupu od koupě měřidla až po jeho vyřazení



Čas ke studiu: 0,5 hodiny



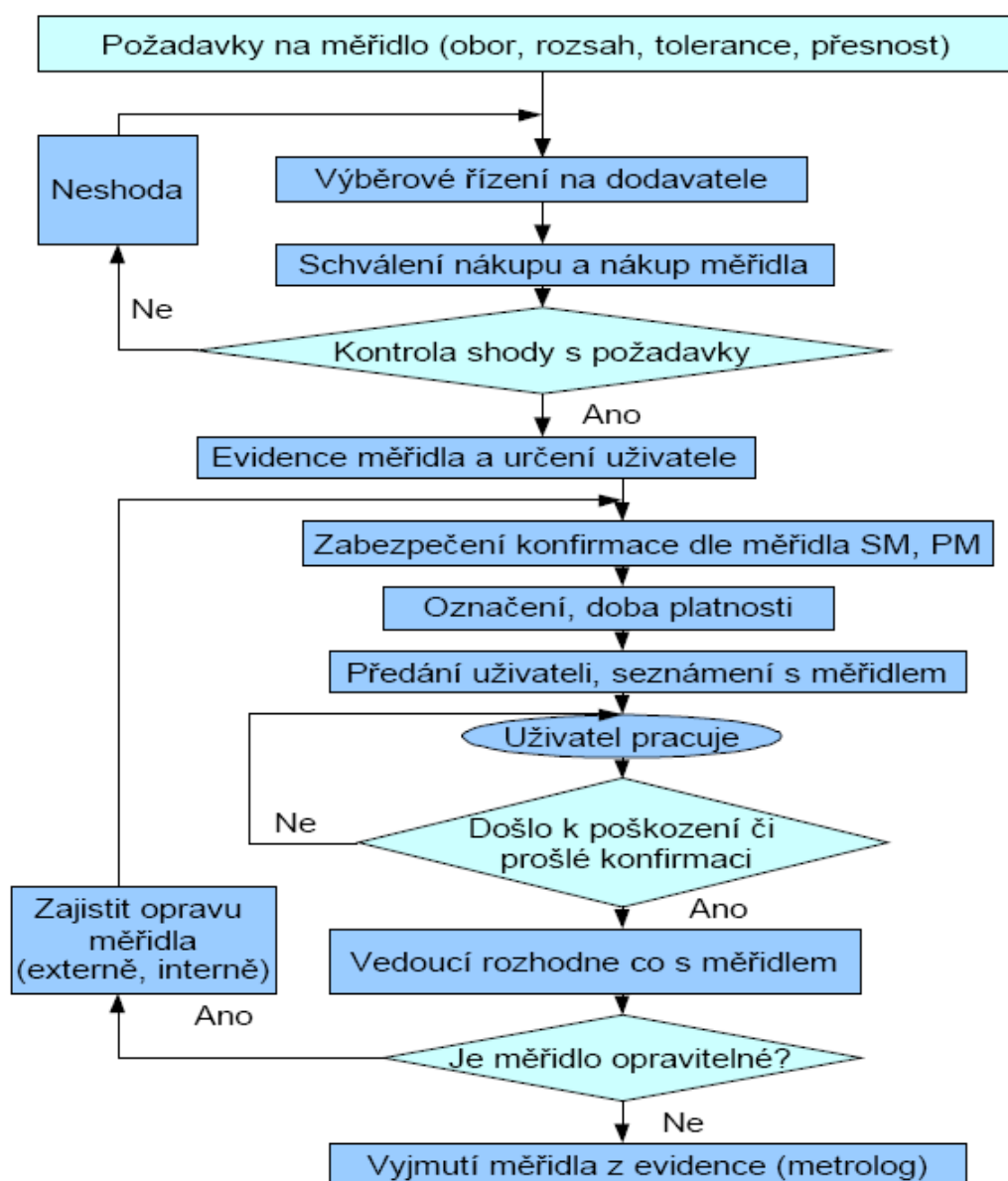
Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

- + Co je to metrologická confirmace.
- + Schéma postupu od zakoupení měřidla po jeho vyřazení z evidence.



Výklad

Metrologická confirmace podle norem je souhrn úkonů, které jsou požadovány pro to, aby byly měřicí přístroje ve shodě s jeho zamýšleným užitím. Obecně sem patří kalibrace a ověřování, seřízení či oprava a následná rekaliibrace, porovnání s požadavky na metrologické použití a také zapečetění či označení štítky. Na obr. 7.1 je přehledné schéma postupu od zakoupení měřidla po jeho vyřazení z evidence.



Obrázek 7.1 – Schéma postupu od zakoupení po vyřazení měřidla



Shrnutí pojmů

Metrologická confirmace, kalibrace, rekaliibrace, seřizování a oprava měřidla.



Otázky 7.7.

132. Co je to metrologická confirmace?
133. Co patří do metrologické confirmace?

7.8 Metrologický řád



Čas ke studiu: 1 hodina



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete vědět

- + Co je to metrologický řád a co by měl obsahovat, včetně příloh.
- + Jaké jsou povinnosti uživatele a co by měla obsahovat karta měřidla.



Výklad

V každé firmě, kde probíhá měření a pracuje s měřidly, musí být stanoven metrologický řád a jím se řídit. Za dodržování a aktualizaci tohoto řádu odpovídá řádně proškolený metrolog, který je obeznámen se všemi měřidly, která se ve firmě používají, a měl by znát, k čemu jsou ve firmě tato měřidla používána. Metrologický řád firmy by měl obsahovat následující body:

- Obsah,
- Cíl,
- Pojmy, definice, zkratky,
- Odpovědnost a pravomoc,
- Rozdělení měřidel,
- Volba měřidel,
- Evidence a značení měřidel,
- Výdej měřidel,
- Kalibrace měřidel,
- Ověřování měřidel,
- Vyřazování měřidel,
- Související dokumenty a přílohy.

Mezi přílohy metrologického řádu lze zařadit:

- Evidenční karta měřidla,
- Seznam pracovních měřidel stanovených,
- Seznam pracovních měřidel nestanovených,
- Seznam referenčních materiálů,
- Kalibrační postup pro nestanovená pracovní měřidla,
- Matice odpovědnosti,
- Matice dokumentace,
- Doklad o převzetí měřidel,
- Objednávka externí kalibrace,
- Oznámení o vadném měřidle.

Povinnosti uživatele

Mezi hlavní povinnosti uživatele patří:

- Používat jen evidovaná měřidla,
- Ohlásit podezření na neshodu měřidla,
- Kontrola funkčnosti,
- Správné užívání,
- Správné uchovávání,
- Sledování kalibračních známek a evidenčních čísel.

Evidenci měřidel ve firmě je možné vést papírově, nebo v dnešní vyspělé technické době i elektronicky. Existuje celá řada databází a softwarových produktů kde je možné měřidla evidovat podle celé řady kritérií, např. datum platnosti kalibračního listu, seznamu uživatelů, jednotlivých středisek ve firmě, abecedy, evidenčních čísel, apod. Velmi důležitou součástí evidence je rozlišení měřidel buďto škálou barev nebo číselně. Evidenční karta měřidla by měla zpravidla obsahovat tyto údaje:

- Název měřidla,
- Jméno výrobce, model a typové označení;
- Výrobní číslo;
- Evidenční číslo metrologické evidence;
- Datum výroby a datum uvedení do provozu;
- Stav při převzetí;
- Umístění měřidla;

- Podrobné údaje z kontrol včetně údajů o ověření nebo kalibrace měřidel;
- Podrobnosti o prováděné údržbě;
- Evidence závad, poškození, úprav a oprav;

Dále je nutné evidovat u každého měřidla jeho základní chybu, tak jak ji udává výrobce a třídu přesnosti měřidla, kterou lze vyjádřit buď číslem, nebo symbolem (ten je přijat dohodou). Je důležité měřit za podmínek, které určí dodavatel měřidla a pro které je určena chyba měřidla. Jen tak lze dosáhnout správných hodnot při měření a potvrdit platnost výsledků.



Shrnutí pojmů

Metrologický řád, evidenční karta měřidla, povinnosti uživatele.



Otázky 7.8.

134. Kdo zodpovídá za dodržování a aktualizaci metrologického řádu?
135. Co je měla obsahovat evidenční karta měřidla?
136. Co patří mezi povinnosti uživatele?
137. Jak se primárně rozlišují jednotlivá měřidla?



Klíč k řešení

O 1.1, 1 - Metrologie je vědní a technická disciplína, zabývající se všemi poznatky a činnostmi, týkajícími se měření, je základem jednotného a přesného měření ve všech oblastech vědy, hospodářství, státní správy, obrany, ochrany zdraví a životního prostředí.

O 1.1, 2 - Metrická konvence je listina, jíž byl přijat systém jednotek a jejich etalonů, který se v souladu s vývojem poznatků stále upřesňuje, ale v zásadě je systémem, umožňujícím dlouhodobou a celosvětovou slučitelnost měření se všemi příznivými důsledky pro mezinárodní obchod a výrobní kooperaci.

O 1.1, 3 - Důvodem je sjednocení jednotek měření.

O 1.2, 4 - Mezinárodní metrologický slovník.

O 1.2, 5 - Proces experimentálního získávání jedné nebo více hodnot veličiny, které mohou být důvodně přiřazeny veličině.

O 1.2, 6 - Je to úplný údaj výsledku měření včetně informace o nejistotě měření.

O 2.1, 7 - Národní metrologický systém zajišťuje konzistentní a mezinárodně uznávanou základnu měření pro všechny obory státní správy, hospodářství, vědy, ochrany správnosti obchodního styku, ochrany zdraví a životního prostředí.

O 2.1, 8 - 1) pro podporu konkurenceschopnosti domácího průmyslu; 2) pro odstraňování technických překážek obchodu.

O 2.1, 9 - Fundamentální metrologie, průmyslová metrologie, legální metrologie.

O 2.2, 10 - Národní metrologické instituty.

O 2.2, 11 - Ministerstvo průmyslu a obchodu, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

O 2.3, 12 - Účelem zákona o metrologii je úprava práv a povinností fyzických osob, které jsou podnikateli, a právnických osob a orgánů státní správy, a orgánů státní správy, a to v rozsahu potřebném k zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření.

O 2.3, 13 - Jsou to měřidla, která Ministerstvo průmyslu a obchodu stanoví vyhláškou k povinnému ověřování s ohledem na jejich význam.

O 2.3, 14 - Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ).

O 2.3, 15 - Autorizovaná metrologická střediska.

O 2.3, 16 - 7.

O 2.3, 17 - Ne - jeden kilogram je prototyp.

O 2.4, 18 - Je to etalon, přijatý oficiálním rozhodnutím za základ stanovení hodnot jiných etalonů příslušné veličiny ve státě.

- O 2.4, 19 - Je to vlastnost výsledku měření nebo hodnoty etalonu, kterou může být určen vztah k uvedeným referencím, zpravidla státním nebo mezinárodním etalonům, přes nepřerušovaný řetězec porovnání (řetězec návaznosti), jejichž nejistoty jsou uvedeny.
- O 2.4, 20 - Na posledním
- O 3.1, 21 - Je to složka chyby měření, která se v opakovaných měřeních mění nepředvídatelným způsobem.
- O 3.1, 22 - Ano.
- O 3.1, 23 - Je to nezáporný parametr charakterizující rozptýlení hodnot veličiny přiřazených k měřené veličině na základě použité informace.
- O 3.2, 24 - Takové měření je třeba ze zpracování vyloučit, aby nezkresloval o výsledek měření.
- O 3.2, 25 - Ano.
- O 3.2, 26 - Skutečná hodnota x_0 odpovídá maximu křivky.
- O 3.2, 27 - Pokud bychom chtěli vyloučit systematickou chybu měření, museli bychom použít přesnější přístroje nebo zavést korekci.
- O 3.3, 28 - Vymezuje interval, v němž se nachází výsledek měření.
- O 3.3, 29 - Ano.
- O 3.3, 30 - Standardní nejistota typu A, standardní nejistota typu B, kombinovaná nejistota, rozšířená nejistota.
- O 4.1, 31 - Souhrnně jsou to měřidla, měřicí převodníky, pomocné měřicí zařízení a referenční materiály
- O 4.1, 32 - Na pracovní a etalony.
- O 4.1, 33 - Zobrazovací a zapisovací.
- O 4.1, 34 - Analogové a digitální.
- O 4.1, 35 - Veličina s příponou metr, jednotka s příponou metr, veličina s příponou měř, měřené prostředí s příponou měř a jiné.
- O 4.1, 36 - Dotykové a bezdotykové.
- O 4.1, 37 - Snímač, zobrazovací zařízení, záznamové zařízení.
- O 4.1, 38 - Je to ta část měřidla nebo řetězce, na který působí měřená veličina.
- O 4.1, 39 - Je to ta část měřidla, která zobrazuje naměřenou hodnotu.
- O 4.1, 40 - Je to část zobrazovacího zařízení, která stupnici indikuje naměřenou hodnotu.
- O 4.1, 41 - Je to uspořádaný soubor očíslovaných značek stupnice.
- O 4.1, 42 - Ukazatel, stupnice a záznamové zařízení.

- O 4.1, 43 - Je to část přístroje, která zaznamenává naměřené hodnoty.
- O 4.1, 44 - Co je to zhmotněná míra?
- O 4.1, 45 - Je to měřidlo, které během používání trvale vykazuje nebo poskytuje jednu nebo více známých hodnot veličiny.
- O 4.1, 46 - Co je to pomocné měřicí zařízení?
- O 4.1, 47 - Je to zařízení, které je potřebné na uskutečnění měření, na dosažení přesnosti atd.
- O 4.1, 48 - Používá s výhradně za účelem reprodukce, uchování a přenosu veličiny na další měřidla, má potřebné technické a metrologické vlastnosti a je vybavené příslušnou dokumentací, je kalibrované, zkoušené a ověřované příslušnou metrologickou organizací na základě vykonaných zkoušek a měření. Toto kalibrování, zkoušení a ověřování se určitých v intervalech opakuje, eviduje se jako etalon, používá se stanoveným způsobem a určenými osobami a uchovává se stanoveným způsobem na určeném místě.
- O 4.1, 49 - Primární a sekundární.
- O 4.1, 50 - Referenční, pracovní, porovnávací a přenosné.
- O 4.1, 51 - Jsou to etalony uznané mezinárodní dohodou, aby sloužili jako základ na určování hodnot jiných etalonů příslušné veličiny.
- O 4.1, 52 - Jsou uznané oficiálním rozhodnutím a v daném státě slouží jako základ pro odevzdávání hodnoty jiným etalonům stejné veličiny.
- O 4.1, 53 - Je to technický prostředek určený k měření a zahrnuje pod společným názvem měřicí přístroje a zhmotněné míry.
- O 4.1, 54 - Je to měřidlo, které umožňuje převod měřené veličiny na veličinu jinou, nebo na jinou hodnotu té stejné veličiny se specifikovanou přesností, které tvoří celek.
- O 4.1, 55 - Měřicí přístroj je měřidlem, měřidlo je určeno pouze k měření, měřicí přístroj k převodu měřené veličiny na jinou veličinu.
- O 4.2, 56 - Se stálou hodnotou, mezní měřidla a stupnicové měřicí prostředky.
- O 4.2, 57 - Etalony, základní měřidla, laboratorní měřidla, provozní měřidla.
- O 4.2, 58 - Pro měření délky, úhlů, závitů, ozubených kol, tvarů, odchylek tvaru a polohy, drsnosti povrchu, speciální.
- O 4.2, 59 - S převodem mechanickým, elektrickým, pneumatickým, optickým a kombinovaným.
- O 4.2, 60 - Jednosouřadnicové, dvousouřadnicové, třísouřadnicové.
- O 4.2, 61 - Např. posuvné měřidlo, mikrometr, svinovací metr,...
- O 4.2, 62 - Např. měřicí mikroskop.

- O 5.1, 63 - Část posuvného měřidla, která umožňuje přesné odečítání.
- O 5.1, 64 - Pevná a posuvná.
- O 5.1, 65 - Vnější, vnitřní, hloubky, osazení.
- O 5.1, 66 - 0,1; 0,05; 0,02 mm.
- O 5.1, 67 - Část výškoměru určená pro orýsování součástí.
- O 5.2, 68 - Mikrometrický šroub se stoupáním 0,5 mm.
- O 5.2, 69 - Speciální měřidlo na měření otvorů pomocí 3 dotyků.
- O 5.2, 70 - Měřidlo na měření velkých otvorů.
- O 5.2, 71 - 0,01 mm.
- O 5.2, 72 - Aby byl vyvozen stálý měřicí tlak a nedošlo k deformaci součásti nebo měřidla.
- O 5.2, 73 - 25 mm (tedy 0-25, 25-50, atd.).
- O 5.2, 74 - 0,001 mm.
- O 5.2, 75 - Ano pro zpřesnění odečtu.
- O 5.3, 76 - 0,01 a 0,001 mm.
- O 5.3, 77 - Ozubený, pákový, pružinový, kombinovaný.
- O 5.3, 78 - Bodový.
- O 5.4, 79 - Červenou barvou, sražením nebo zúžením.
- O 5.4, 80 - Kvůli tepelné roztažnosti materiálu kalibru.
- O 5.4, 81 - Dobrá a zmetková strana.
- O 5.4, 82 - Dílenský, přebírací, kontrolní.
- O 5.5, 83 - Nasouváním na sebe.
- O 5.5, 84 - Až 1000 N.
- O 5.5, 85 - Vysoká přesnosti, nízká drsnost, adhezní síla.
- O 5.5, 86 - Kalibrační, etalonové, pracovní, dílenské.
- O 5.5, 87 - Ocel, WC, keramika.
- O 5.5, 88 - Nízká tepelná roztažnost, vysoká ořezuvzdornost, tvrdé, korozivzdorné.
- O 6.1, 89 - Přímé a nepřímé.
- O 6.1, 90 - úhelníky, úhloměry, úhlové měrky, profilprojektory, vodováhy.
- O 6.1, 91 - Na principu goniometrických funkcí (sin, cos, tg)
- O 6.2, 92 - Plochý, příložený, kontrolní, nožový, s upínacími zářezy, speciální.
- O 6.2, 93 - Kontrolní úhelník.

- O 6.3, 94 - Universální, digitální, optický.
- O 6.3, 95 - V desítkách minut.
- O 6.4, 96 - Jako etalony úhlů.
- O 6.4, 97 - Ano.
- O 6.5, 98 - Strojní (přesná), křížová, rámová, digitální, optická.
- O 6.5, 99 - Žádný, jedná se o totéž.
- O 6.5, 100 - Aby bylo možno měřit rovinnost na válcových plochách.
- O 6.6, 101 - Např. na kontrolu úhloměrných měřidel, kuželů, úkosů, apod.
- O 6.6, 102 - Koncovými měrkami.
- O 6.6, 103 - Na principu goniometrické funkce sinus.
- O 6.7, 104 - Promítá zvětšený obraz na matnici nebo promítací plochu
- O 6.7, 105 - Procházející světlo
- O 6.7, 106 - Odražené světlo.
- O 6.7, 107 - V typu světla, kterým je měřený předmět osvětlován.
- O 7.1, 108 - Odborné vzdělání, speciální znalosti, školení a znalost odborné literatury.
- O 7.1, 109 - Metrolog firmy.
- O 7.1, 110 - Zúčastnit se školení pro metrology firem.
- O 7.2, 111 - Požadavky na měření, které jsou stanoveny technologickými a technickými postupy a předpisy, obecně závaznými pravidly a soupis měřicích prostředků.
- O 7.2, 112 - Volba měřidel pro zajištění kvality výroby, podpůrných činností a právních předpisů, analýza účelu použití měřidel, popis legislativních a technických věcí.
- O 7.2, 113 - Etalony, pracovní, stanovená měřidla a referenční materiály.
- O 7.3, 114 - Nastavit a popsat metrologický systém, poskytnout podporu činností, respektovat legislativu, důvěryhodný systém firmy.
- O 7.3, 115 - ČSN EN ISO 9001:2000 a ČSN EN ISO 10 012.
- O 7.3, 116 - Seznam stanovených měřidel, identifikaci kategorií měřidel, způsob metrologické návaznosti, stanovení platnosti kalibrace, schémata návaznosti.
- O 7.3, 117 - Nejlépe vhodný software.
- O 7.3, 118 - Kvalifikovaným odhadem, doporučení výrobce nebo kalibrační laboratoře, podle stáří měřidla.
- O 7.4, 119 - Seznámit vrcholový management s návrhem a jeho schválení.
- O 7.4, 120 - Konfrontaci mezi cílovými soubory měřidel a skutečností.
- O 7.4, 121 - Nákup služby mimo mateřskou firmu.

- O 7.4, 122 - Výhody jsou bezproblémový průběh, bez zodpovědnosti. Nevýhoda je, že si vše určuje cizí firma.
- O 7.4, 123 - Interní školení ve firmě, interní audity, vymáhání důsledků nálezů.
- O 7.5, 124 - Proces měření, reálné nejistoty, přezkoumání z činností.
- O 7.5, 125 - Vytvoření provozního řádu laboratoře, vlastní kalibrační postupy, vlastní prostory, technické prostředky a kvalifikovaný personál.
- O 7.5, 126 - Rozhodnutí o kalibraci, úpravy v systému, nová doba kalibrace, případná vlastní kalibrace.
- O 7.5, 127 - Certifikace celé firmy dle ISO 9001:2000, akreditace laboratoře dle ČSN EN ISO 17 025, úspěšné mezilaboratorní porovnávání.
- O 7.6, 128 - Aktualizace, audity od vedení, preventivní opatření a opatření k nápravě.
- O 7.6, 129 - Udržování nebo zvyšování kvalifikace, prokazování způsobilosti.
- O 7.6, 130 - Údržba a rozvoj parku měřidel, metrologická návaznost, validace metod, mezilaboratorní srovnávání.
- O 7.6, 131 - Údržba , rozvoj a monitoring.
- O 7.7, 132 - Je souhrn úkonů, které jsou požadovány pro to, aby byly měřicí přístroje ve shodě s jeho zamýšleným užitím.
- O 7.7, 133 - Patří sem kalibrace, ověřování, seřízení či oprava, rekalkibrace, porovnání s požadavky na metrologické použití a zapečetění nebo označení štítky.
- O 7.8, 134 - Řádně proškolený metrolog.
- O 7.8, 135 - Výrobce (název, model, typ, datum výroby, výrobní číslo), evidenční číslo metrologické evidence, stav při převzetí, umístění, údaje o ověření či kalibraci, údržbě, závadách, opravách, ...
- O 7.8, 136 - Používat jen evidovaná měřidla, kontrolovat funkčnost, hlásit neshody měřidel, správně používat a uchovávat.
- O 7.8, 137 - Číselně nebo barevnou škálou.



Další zdroje ke studiu

TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie : část 1*. Ostrava. VŠB – TU Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0672-X.

TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie : část 2 Základy řízení jakosti*. Ostrava. VŠB – TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1209-6.

TICHÁ, Šárka; ADAMEC, Jaromír. *Návody do cvičení z předmětu strojírenská metrologie*. Ostrava. VŠB – TU Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1916-7.

PERNÍKÁŘ, Jiří; TYKAL, Miroslav; VAČKÁŘ, Josef. *Jakost a metrologie*. Brno. Akademické nakladatelství CERM, 2001. ISBN 80-214-1997-0.

ČECH Jaroslav; PERNÍKÁŘ, Jiří; JANIČEK, Libor. *Strojírenská metrologie*. Brno. Fakulta strojní VUT v Brně, 1998. ISBN 80-214-1230-5.

ČSN EN ISO/EC 17025:2001. Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří.

ČSN EN ISO 10012 (010360). Systémy managementu měření – požadavky na procesy měření a měřicí vybavení.

8 LITERAURA

- [1] TNI 01 0115 *Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)*.
- [2] ČSN ISO 8601 *mezinárodní standard pro zápis data a času*.
- [3] ZÁKON 119/2000 Sb. – *O metrologii*. 2000.
- [4] PALENČÁR, R. a kol. Nejistoty v měření I. *AUTOMA* 7-8. 2001, str. 50-54.
- [5] PALENČÁR, R. a kol. Nejistoty v měření II. *AUTOMA* 10. 2001, str. 52-56.
- [6] PALENČÁR, R. a kol. Nejistoty v měření III. *AUTOMA* 12. 2001, str. 28-33.
- [7] ČMI. Brno. *Ujednání MRA, státní etalony*. 17 stran.
- [8] ČMI. Brno. *Základní prvky národního metrologického systému ČR a mezinárodní metrologická spolupráce*. 2007. 43 stran.
- [9] Úvod do metrologie – Mezinárodní soustava jednotek SI. [online] [cit. 2010-08-11] dostupný na www.artemis.osu.cz:8080/artemis/view.php?ids=1&idr=1&idc=171
- [10] KOLEKTIV AUTORŮ. *Technické meranie, zväzok II, modul 15 – Meranie uhla (Martin Halaj, Paul Regtien)*. Učební texty projektu Metromedia-online : Vídeň, 2005. ISBN 80-89112-04-8.
- [11] KOLEKTIV AUTORŮ. *Technické meranie zväzok II, modul 12 – Meranie dĺžky, polohy, rozmeru (Numan M. Durakbasa, Ali Afjehi-Sadat, P. Herbert Osanna)*. Učební texty projektu Metromedia-online : Vídeň, 2005. ISBN 80-89112-04-8.
- [12] Portál strojárkej metrológie TUKE v Košiciach. [online] [cit. 2011-01-21] dostupný na <http://www.tuke.sk/smetrologia>
- [13] Metrologie v praxi. [online] [cit. 2011-01-18] dostupný na www.statapol.cz/request/request2006/sbornik/cezova.pdf
- [14] PERNÍKÁŘ, J.; TYKAL, M.; VAČKÁŘ, J. *Jakost a metrologie*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2001. ISBN 80-214-1997-0.
- [15] OBMAŠČÍK, M.; SLIMÁK, I.; MADUDA, M. *Riadenie akosti a metrológia*. Žilina : VTEL Alfa Bratislava, 1987.
- [16] PALENČÁK, R.; KUREKOVÁ, E.; VDOLEČEK, F.; HALAJ, M. *Systém riadenia merania*. Bratislava : Grafické štúdio Ing. Peter Juriga, 2001. ISBN 80-968449-7-0.
- [17] [www stránky prodejců, výrobců a distributorů měřidel](#) – viz odkazy v textu.