



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava



Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch

studijní opora

**Lenka ČEPOVÁ
Lenka PETŘKOVSKÁ**

Ostrava 2011

Název: Legislativa ve strojírenské metrologie a přesné měření 3D ploch
Autoři: Lenka ČEPOVÁ, Lenka PETŘKOVSKÁ
Vydání: první, 2011
Počet stran: 125
Náklad: 30 ks
Vydavatel a tisk: VŠB – TUO, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže

Studijní materiály pro vzdělávání středoškolských pedagogů
Jazyková korektura: nebyla provedena.

Určeno pro projekt:

Operační program Vzdělávání pro konkurenceschopnost

Název: Podpora moderních metod výuky v oblasti výrobních technologií pro pedagogické pracovníky středních škol

Číslo: CZ.1.07/1.3.05/03.0019

Realizace: VŠB – Technická univerzita Ostrava

Projekt je spolufinancován z prostředků ESF a státního rozpočtu ČR

© Lenka ČEPOVÁ, Lenka PETŘKOVSKÁ

© VŠB – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80- 248-2514-4

Obsah:

1	LEGISLATIVA V METROLOGII	6
1.1	VÝZNAM METROLOGIE A JEJÍ CÍL	6
1.2	NÁPLŇ METROLOGIE	7
1.3	TERMINOLOGIE POUŽÍVANÁ V METROLOGII	9
1.4	NÁRODNÍ METROLOGICKÝ SYSTÉM	12
1.4.1	Podstata národního metrologického systému	12
1.4.2	Postavení a úlohy jednotlivých prvků národního metrologického systému	14
1.4.3	Strategie rozvoje NMS v ČR	19
1.4.4	Mezinárodní metrologická spolupráce	23
1.5	ZÁKON O METROLOGII	25
1.5.1	Legislativní rámec	25
1.5.2	Rozdělení měřidel dle zákona o metrologii	27
1.5.3	Instituce činné v metrologii	28
1.5.3.1	Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR (MPO), které:	29
1.5.3.2	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.	29
1.5.3.3	Český metrologický institut (ČMI)	30
1.5.3.4	Autorizovaná metrologická střediska	31
1.5.3.5	Střediska kalibrační služby	32
1.5.3.6	Český institut pro akreditaci (ČIA)	32
1.5.4	Základní jednotky SI soustavy	33
1.5.5	Nedostatky zákona o metrologii	36
1.6	CHYBY A NEJISTOTY MĚŘENÍ	38
1.6.1	Základní pojmy v souvislosti s chybami a nejistotami měření	39
1.6.2	Chyby měření	40
1.6.2.1	Náhodné chyby	41
1.6.2.2	Normální rozdělení	41
1.6.3	Nejistoty měření	43
1.6.3.1	Druhy nejistot	44
1.6.3.2	Zdroje nejistot	45
2	PŘESNÉ MĚŘENÍ 3D PLOCH	46
2.1	SOUŘADNICOVÁ MĚŘICÍ TECHNIKA (CMM)	46
2.1.1	Úvod	46
2.1.2	Typy konstrukcí CMM	50
2.1.2.1	Multisenzorové CMM	52
2.1.2.1.1	Počítačová tomografie (metrotomografie)	53
2.1.3	Základní prvky mechanického systému	54
2.1.4	Uložení pohyblivých částí	55
2.1.5	Komplexní měřicí systémy	55
2.1.6	Odměřovací systémy na CMM	60
2.1.7	Snímací systémy	65
2.1.7.1	Hlavičky snímacího systému	65
2.1.7.2	Dotykové snímací systémy	66
2.1.7.3	Bezdotykové systémy	66
2.1.7.4	Měřicí dotyky	69
2.1.8	Řídicí systém	72
2.1.9	Princip souřadnicového měření	72
2.1.10	Metody měření na CMM	74
2.1.11	Programy pro obsluhu a hodnocení měření na CMM	75
2.2	PŘEHLED MĚŘICÍCH SYSTÉMŮ	76
2.2.1	Dotykové snímací systémy	77
2.2.1.1	Systém spínacího typu	77
2.2.1.2	Systém snímacího typu (skenující sonda)	79

2.2.2	Bezdotykové systémy	80
2.2.2.1	Princip pro měření 2D objektu	80
2.2.2.1.1	Vizuální senzory	80
2.2.2.1.2	Hranolový senzor	81
2.2.2.1.3	Senzor zpracování obrazu	81
2.2.2.1.4	CCD kamera (Charge-Coupled Device)	82
2.2.2.2	Principy pro 3D měření objektu	84
2.2.2.2.1	Optické 3D skenery	85
2.2.2.2.2	Laserové 3D skenery	89
2.2.2.2.3	Ruční 3D skenery	93
2.2.2.2.4	Destruktivní skenery	94
2.2.2.2.5	Ultrazvukové skenery	95
2.2.2.2.6	Rentgenové skenery	96
2.2.2.3	Metody měření pro 3D objekty	97
2.2.2.3.1	Triangulační metody	97
2.2.2.3.2	Optická interferometrie	101
2.2.2.3.3	Měření doby letu světla	101
2.3	POŽADAVKY NA PŘESNOST CMM	103
2.3.1	Zdroje chyb při měření	103
2.3.2	Kontrola přesnosti snímacích hlav	104
2.3.3	Ovlivnění přesnosti měřicí sondy	105
2.3.4	Ovlivnění přesnosti vlivem opotřebení kuličky dotyku	105
2.3.5	Ovlivnění přesnosti vlivem přepočtu souřadnic měřeného bodu	106
2.3.6	Přesnost a kontrola CMM	107
2.3.7	Vliv chyb na výsledek měření	108
2.3.8	Chyby snímání u CMM	109
2.4	ZAJIŠTĚNÍ OBJEKTIVNOSTI MĚŘENÍ U PROSTOROVÝCH DÍLŮ	110
2.4.1	Přesnost měření	111
2.4.2	Statistické regulační diagramy	111
2.4.3	Řízení procesů měření a způsobilost procesů měření	113

Při studiu každé kapitoly doporučujeme následující postup:



Čas ke studiu: xx hodin

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



Cíl: Po prostudování tohoto odstavce budete umět

popsat ...
definovat ...
vyřešit ...

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



Výklad

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



Shrnutí kapitoly

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



Kontrolní otázka

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



Úkol k řešení

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



Klíč k řešení

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

1 LEGISLATIVA V METROLOGII

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- Vyjmenovat základní cíle metrologie.
- Pochopit náplň metrologie.

Budete umět

Budete schopni:

- Orientovat se v základních cílech metrologie.
- Pochopit základní význam metrologie.

Budete schopni

Zabezpečování jednotnosti a správnosti měřidel a měření je základním posláním metrologie. 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, což mělo kořeny již v pravěku a platí to i dnes v období globalizace.

1.1 VÝZNAM METROLOGIE A JEJÍ CÍL



Čas ke studiu: 0,5 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat základní cíle metrologie.
- Popsat cíle metrologie.



Výklad

Cílem metrologie je v podstatě zabezpečování jednotnosti a přesnosti měření. Její nezastupitelná role se projevuje zejména v těchto oblastech:

- Ve všech aplikačních vědách, které nemohou bez metrologie studovat přírodní zákony a formulovat jejich znění nebo je revidovat.
- V nejrůznějších technologických procesech všech výrobních odvětví (strojírenství, stavebnictví, energetika atd.) je měření vysoce potřebnou činností.
- Metrologie má zásadní význam pro technickou normalizaci, protože veškeré kvantifikační údaje a požadavky, které technické normy obsahují, byly nebo musí být změřeny.

- Metrologie je velmi důležitá pro kontrolu a zkoušení, které tvoří určitou nadstavbu ukončené výroby všech výrobků. Tím se má vytvářet záruka pro kupujícího, že to, co nakupuje, má patřičné náležitosti materiálové a funkční.
- Metrologie má velký význam v obchodě, kde spolupůsobí při prosazování poctivosti dodavatelsko-odběratelských vztahů a umožňuje zajišťovat kvantitativní zájmy všech spotřebitelů.
- Metrologie má zásadní význam v oblasti dopravy a spojů. Bez měření nemohou tyto dvě oblasti národního hospodářství existovat.
- Při zajišťování zdraví všech občanů a s ním souvisejícího životního prostředí má metrologie nezastupitelnou úlohu. Otázky vyšetřování a diagnostiky jsou úzce vázány na měřicí přístroje, jejichž funkce by měla být zajišťována kalibrací, protože bez této záruky spolehlivosti může dojít k závažným následkům.
- Hodnocení sportovních výkonů není možné bez spolehlivého měření, zejména času, délek, hmotnosti aj.
- Měření má značný význam i v běžném občanském životě. Příklady: měření času, délky, teploty, vážení. Na odběr vody, plynu a elektřiny dohlíží stát tím, že příslušná měřidla jsou povinně pravidelně ověřována.
- Zabezpečování jednotnosti a přesnosti měření je ve všech uvedených oblastech důležité také pro stát. To je však třeba zabezpečovat především na mezinárodním poli. Týká se to především návaznosti na mezinárodní etalony, resp. primární etalony jiných států.



Shrnutí kapitoly

Metrologie a její cíle.



Kontrolní otázka

O 1.1.1 Co je základním cílem metrologie?

1.2 NÁPLŇ METROLOGIE



Čas ke studiu: 0,4 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat čtyři hlavní skupiny metrologie.
- Definovat 2 vedlejší skupiny.



Výklad

Metrologii lze rozdělit do čtyř hlavních a dvou vedlejších skupin:

- a) metrologické veličiny, měřicí jednotky a jejich realizace (etalony), zahrnují především:
 - fyzikální veličiny včetně jejich definic a soustavy fyzikálních jednotek;
 - technické veličiny a jejich jednotky;
 - zabezpečení jednotnosti měření prostřednictvím realizace fyzikálních jednotek etalony a porovnáváním, navazováním, ověřováním a kalibrace měřidel;
 - schémata návaznosti měřidel;
- b) měřicí metody (měření), zahrnují především:
 - teorie měření a měřicí principy;
 - volba metody měření z hlediska požadovaného průběhu měření a přesnosti jejich výsledků;
 - způsoby, jak měření připravit a realizovat, zpracovat a analyzovat výsledky pomocí teorie pravděpodobnosti, teorie chyb a aplikace matematické statistiky;
 - automatizace měření, programování a využití výpočetní techniky;
- c) měřicí prostředky, zahrnují především:
 - rozdělení měřicích prostředků a jejich vlastnosti, měřidla, míry, měřicí přístroje a měřicí stroje;
 - ověřování, kalibrace, zkoušení a kontrola měřidel;
 - etalony a přenosová měřidla;
 - zabezpečování jednotnosti a přesnosti měření vhodnou volbou měřidla;
- d) měřicí osoby (pozorovatelé), zahrnuje především:
 - vlastnosti pracovníka provádějícího měření, vlivy těchto vlastností na průběh a výsledek měření, osobní chyby;
 - způsoby, jak omezit nebo odstranit osobní vlivy na měření;
 - uplatnění pozorovatele v systému zabezpečování jednotnosti a přesnosti měření;
- e) základní fyzikální konstanty;
- f) vlastnosti látek a materiálů.



Shrnutí kapitoly

Hlavní skupiny metrologie.



Kontrolní otázky

- O 1.2.1 Kolik je hlavních skupin metrologie?
- O 1.2.2 Kolik je vedlejších skupin metrologie?

1.3 TERMINOLOGIE POUŽÍVANÁ V METROLOGII

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- Základní pojmy z Mezinárodního slovníku základních a všeobecných termínů v metrologii.
- Další pojmy používané v metrologii.

Budete umět

Budete schopni:

- Používat základní pojmy z metrologie.

Budete schopni



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat základní pojmy používané v metrologii.



Výklad

Metrologickou terminologii na mezinárodním poli zpracovává Mezinárodní organizace legální metrologie (OIML). Ta postupně vytvořila 2 slovníky. Jsou to:

- Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii (International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology) se zkratkou VIM;
- Slovník legální metrologie (Vocabulary of Legal Metrology) se zkratkou VML.

První uvedený slovník, a to jeho druhé vydání z roku 1993, tzv. VIM 2, byl v ČR vydán jako **ČSN 01 0115 Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii**. Stal se tedy základním předpisem pro terminologii v metrologii.

Druhý ze slovníků byl vydán jako metodický pokyn pro metrologii **MPM 11-89 Terminologie v legální metrologii**. Vzhledem k tomu, že tento MPM je překladem návrhu revize VML z roku 1987, některé jeho termíny neodpovídají termínům podle VIM, tím však i ČSN 01 0115.

Mezi některé základní pojmy z Mezinárodního slovníku základních a všeobecných termínů v metrologii, která je zapsaná, jako norma ČSN 01 0115 patří:

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

Měřená veličina: veličina, která má být měřena.

PŘÍKLAD - Tlak páry daného vzorku vody při 20 °C.

Specifikování, tj. bližší určení měřené veličiny může vyžadovat údaje o dalších veličinách jako je čas, teplota a tlak.

Měřicí princip: jev sloužící jako základ měření.

Metoda měření: generický popis logického organizování činností použitých při měření.

Postup měření: 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: 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: vlastnost jevu tělesa nebo látky, která má velikost, jenž může být vyjádřena jako číslo a reference.

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

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

Hodnota veličiny: číslo a reference společně vyjadřující velikost veličiny. Např. délka dané tyče 5,34 m nebo 534 cm.

Konvenční hodnota veličiny: 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: reálná skalární veličina, definovaná a přijatá konvencí, se kterou může být porovnávána jakákoliv jiná veličina stejného druhu vyjádřením podílu dvou veličin jako čísla.

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

Odvozená jednotka: měřicí jednotka pro odvozenou veličinu.

Další důležité termíny obsažené v tomto pokynu a jejich definice doplňující terminologii podle ČSN 01 0115:

Legální metrologie: část metrologie, která se zabývá právními, technickými a administrativními požadavky vzhledem k měřicím jednotkám, měřicím metodám a měřidlům.

Metrologické zabezpečení: všeobecné předpisy, technické prostředky a nezbytné činnosti k zabezpečení jednotnosti a požadované přesnosti (exaktnosti) měření.

Zákonná (měřicí) jednotka: měřicí jednotka, jejíž používání je předepsáno nebo povoleno zákonem o metrologii.

Tento pokyn také obsahuje termíny, které se týkají činnosti legální metrologie. Tyto následující definice jsou pro snadnější pochopení upraveny podle „jazyka“ zákona 505/1990 Sb. o metrologii ve znění pozdějších předpisů.

Kontrola měřidel: soubor činností, které zahrnují všechny, nebo některé z následujících:

- a) **schválení typu:** rozhodnutí o tom, že typ měřidla vyhovuje předepsaným požadavkům;
- b) **ověřování:** soubor činností, které se skládají ze zkoušky měřidla, jeho označení úřední značkou a z vystavení ověřovacího listu, kterým se konstatuje a potvrzuje, že měřidlo odpovídá předepsaným požadavkům.

Prvotní ověření: ověření měřidla, které dosud nebylo ověřeno.

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

Periodické ověřování: ověřování měřidla, prováděné v určitých časových intervalech předepsaným způsobem.

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

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

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

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

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

Nedílnou součástí oblasti legální metrologie také patří termíny pro dokumentaci. Mezi základní dokumenty tohoto typu lze zařadit ověřovací list, certifikát schválení typu, zamítací list. Dále jsou to značky na měřidle, tj. úřední značka ověření měřidla, značka schválení typu, značka úřadu, zamítací značka, plomba.

Mezi termíny legální metrologie se řadí také termíny týkající se zákonných měřidel, mezinárodního a státního etalonu a certifikovaného referenčního materiálu.

Obecně lze tedy říci, že uživatel normy by se před jejím použitím měl seznámit s termíny a definicemi, které se používají pro daný účel normy.



Shrnutí kapitoly

Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii, Slovník legální metrologie



Kontrolní otázky

- O 1.3.1 Co je to metrologie?
- O 1.3.2 Co je to výsledek měření?
- O 1.3.3 Co je to základní jednotka?
- O 1.3.4 Co je to prvotní ověření?

1.4 NÁRODNÍ METROLOGICKÝ SYSTÉM

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- Podstatu národního metrologického systému.
- Znat jednotlivé prvky NMS.
- Úlohy jednotlivých prvků NMS.
- Rozvoj NMS.

Budete umět

Budete schopni:

- Pochopit vztahy mezi jednotlivými prvky národního metrologického systému.
- Určit rozvoj NMS.

Budete schopni

Odpovědnost státu (vlády) v rámci národního metrologického systému (NMS), je omezena pouze na uchovávání a rozvoj základních prvků NMS, které jsou buď typickou úlohou vlády (soustava měřicích jednotek, autorizace, dohled/dozor, předpisová základna) nebo kdy jde o tzv. selhání trhu – pravidla tržní ekonomiky sama o sobě nejsou s to, se s daným problémem vypořádat.

1.4.1 Podstata národního metrologického systému



Čas ke studiu: 0,7 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat národní metrologický systém jako celek.
- Popsat základní prvky národního metrologického systému.



Výklad

Mezi základní úlohu státu lze především jmenovat:

- rámcové právní vymezení prvků NMS;
- zřízení a podpora činnosti národního metrologického institutu (NMI), který uchovává a rozvíjí státní etalony jednotlivých veličin a realizuje předávání hodnot jednotek příslušných fyzikálních a technických veličin na měřidla hierarchicky nižšího řádu (vlastněná uživateli, prioritně podnikatelskou sférou);

- zřízení a podpora činnosti národní organizace nebo organizací legální metrologie, která zajišťuje praktickou realizaci právní úpravy pro ochranu stran v některých závazkových vztazích, zejména ve vztahu k ochraně spotřebitele (tam, kde nemůže hájit své zájmy sám) v obchodním styku, v ochraně zdraví a bezpečnosti při práci apod.

Základním posláním metrologie je zabezpečování jednotnosti a přesnosti měřidel a měření. Podle kvalifikovaných odhadů v průmyslově vyspělých státech tvoří náklady na měření fyzikálních hodnot a technických veličin a na s tímto související činnosti 4 – 6 % HDP. Na metrologických činnostech se pochopitelně podílejí určeným způsobem jak veřejný, tak i soukromý sektor. Tento podíl je závislý na příslušné právní úpravě metrologie v jednotlivých státech a je také závislý na daném ekonomickém a právním prostředí. V historii bylo potřeba definovat jednotku, proto je metrologická legislativa jednou z nejstarších na světě. Kromě jejího definování bylo potřeba zavést také fyzikální realizace a povinné používání. To se stalo základním předpokladem pro rozvoj obchodu a výroby už od pravěku. V dnešní době je ovšem toto nutné mnohem více než v historii. Též 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.

Národní metrologický systém je možné rozdělit do několika základních oblastí:

- **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 (PM)**, sloužící k zabezpečení jednotnosti a přesnosti měření a následně jakosti výroby a služeb v širokém spektru oborů (neregulovaná sféra metrologie),
- **legální metrologii (LM)**, 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 jako "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 kapitoly

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



Kontrolní otázky

- O 1.4.1 Čím se zbývá fundamentální metrologie?
- O 1.4.2 K čemu slouží průmyslová metrologie?
- O 1.4.3 Co je úkolem legální metrologie?
- O 1.4.4 Co je to národní metrologický systém?

1.4.2 Postavení a úlohy jednotlivých prvků národního metrologického systému



Čas ke studiu: 3 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat úlohy jednotlivých prvků NMS.
- Popsat vztahy mezi jednotlivými prvky národního metrologického systému.



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.

V České republice je velmi silná základna technicky vyspělých kalibračních laboratoří a metrologických laboratoří v podnicích. O tuto vyspělou vrstvu se opírá národní metrologický systém v ČR. Současný model, a to včetně provedených novelizací zákona o metrologii, je slučitelný se systémy zvednými v EU.

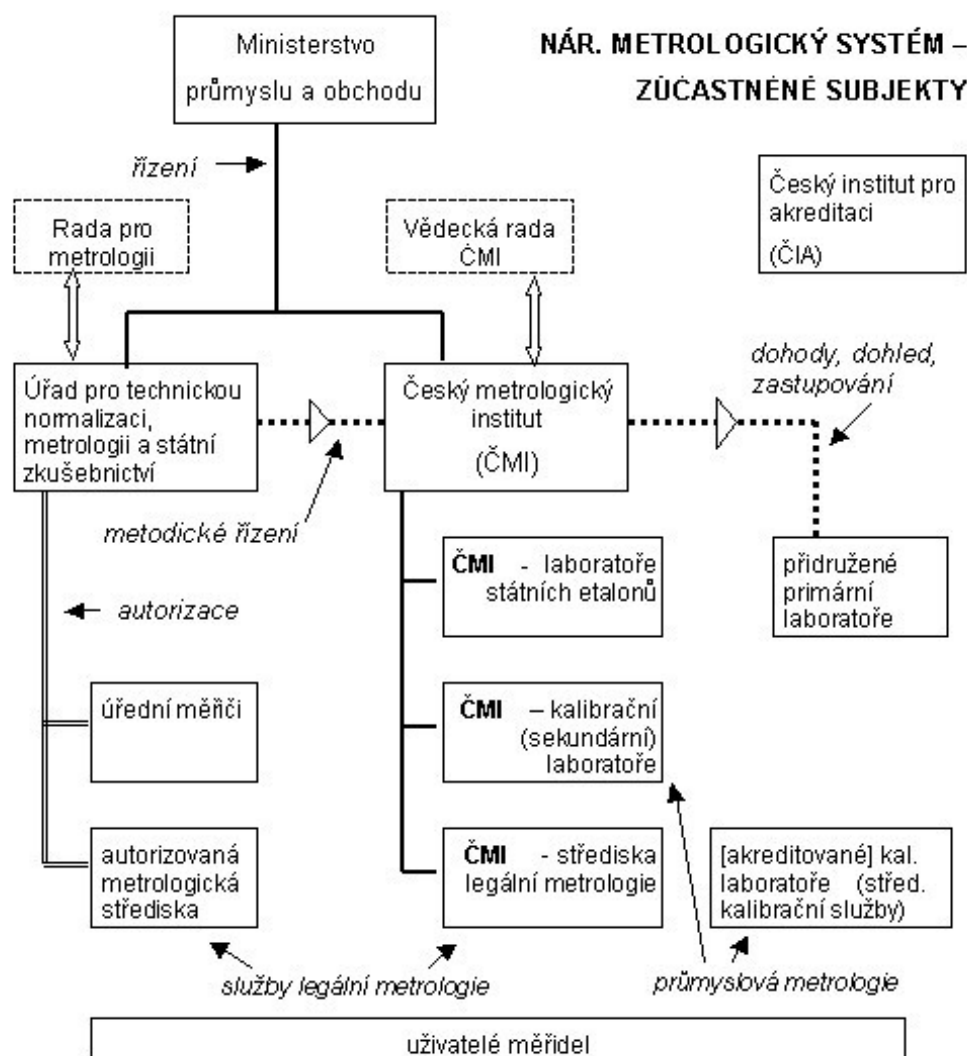
Instituce působící v oblasti řízení, legislativy a koncepcí:

- 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.

Institute působící v oblasti výkonné metrologie:

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

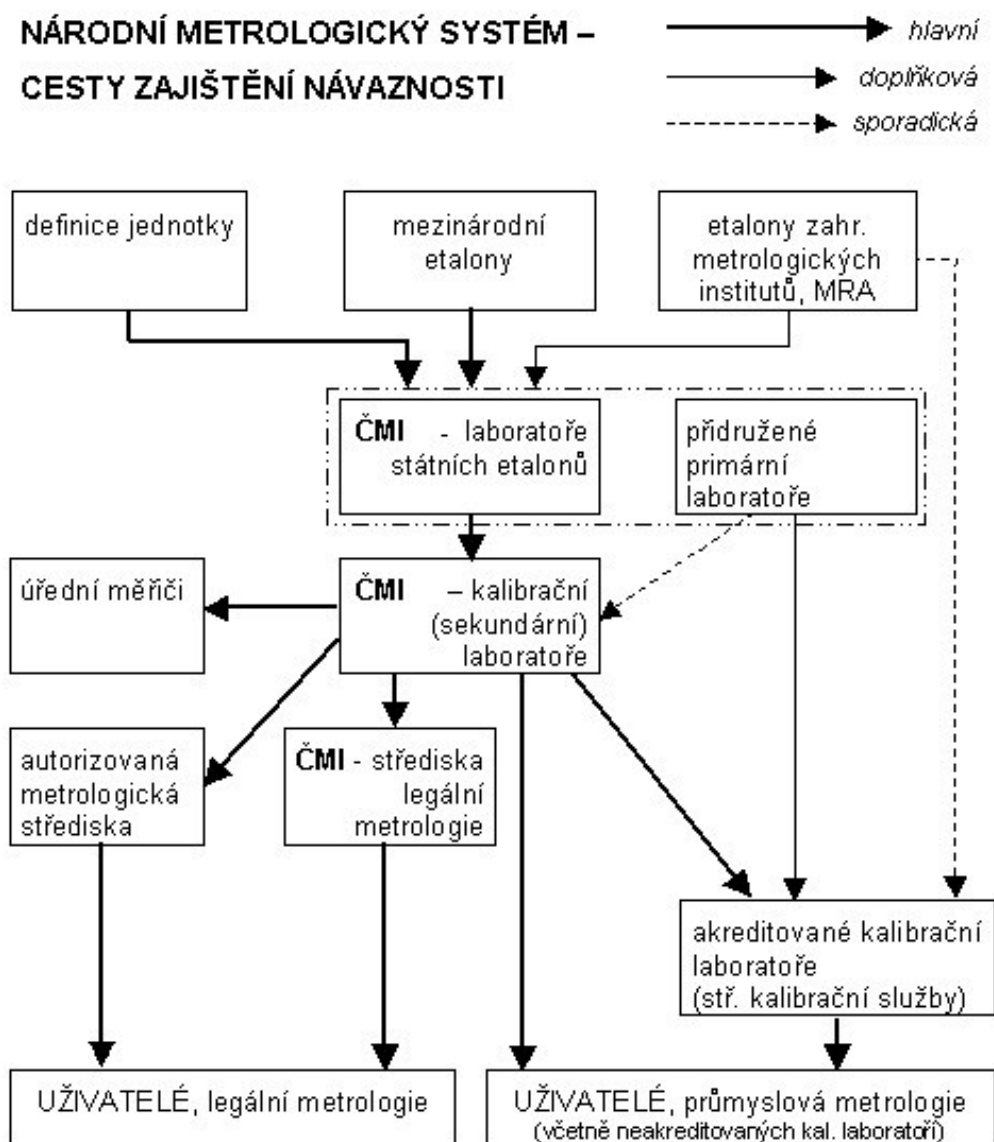


Obr. 1 Zjednodušené schéma národního metrologického systému ČR

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 – www.csvts.cz/cms) a České kalibrační sdružení (ČKS – www.cks-brno.cz). Koncepčně 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.

Na obrázku 1 jsou zjednodušeně vyjádřeny vazby mezi jednotlivými subjekty v rámci NMS. Jsou zde zobrazeny pouze ty nejčastější a nejdůležitější vazby a horizontální vazby, realizované na všech etalonážních úrovních, jako vzájemné mezilaboratorní porovnání výsledků měření, zobrazeny nejsou. Zjednodušeně jsou vyjádřeny vztahy k metrologickým institucím jiných zemí. Pro přehlednost jsou ve schématu vynechány vazby na akreditační systém.

Etalony, které tvoří technickou kostru systému, jsou uspořádány obdobně. Jejich vzájemné postavení v řetězci metrologické návaznosti (tzv. vertikální návaznost - definice viz dále) určuje i postavení odpovídajících laboratoří tak, jak to ilustruje obrázek 2.



Obr. 2 Uspořádání subjektů s ohledem na metrologickou návaznost

ČR je zejména prostřednictvím ČMI zapojena ve všech významných mezinárodních metrologických strukturách, které se rozvíjejí intenzivněji než v minulosti. Jedná se zejména o Metrickou konvenci a související orgány, o sdružení EUROMET (spolupráce národních metrologických institutů – od 1.7.2007 právnická osoba EURAMET e.V.), WELMEC (Evropská spolupráce v oblasti legální metrologie), NCSLI (National Conference of Standard Laboratories International, USA) a svou činností podporuje práci Českého institutu pro akreditaci (ČIA), plného člena EA (evropská spolupráce národních akreditačních orgánů) a signatáře (od r. 1998) Multilaterální dohody o uznávání akreditačních certifikátů (MLA) v Evropě.

Technickým a vědeckým základem metrologického systému je fundamentální metrologie, zabývající se soustavou měřicích jednotek, realizací primárních etalonů, soustavou fyzikálních konstant, metodami měření. Tato oblast metrologie má charakter vědeckého výzkumu, se kterým je vázána jednak jako jeho nástroj, jednak jako uživatel výsledků. Na národní úrovni tyto činnosti zabezpečují tzv. národní metrologické instituty či ústavy (National Metrology Institutes – NMI), v ČR je to ČMI.

Další významné světové NMI (National Metrology Institutes):

- NIST (National Institute of Standards and Technology) USA – největší metrologický ústav na světě s rozpočtem cca 300 mil. USD ročně a pochází odtud několik laureátů Nobelovy ceny za fyziku – www.nist.gov;
- PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) Německo – nám nejbližší velký NMI, největší NMI v Evropě a jeho předchůdce PT Reichsanstalt byl vůbec prvním metrologickým institutem na světě (založen v r. 1887) – www.ptb.de;
- NPL (National Physical Laboratory) V. Británie – na počátku 2. světové války zde byl vynalezen radar, který se významně podílel na úspěšné obraně V. Británie v letecké Bitvě o Anglii, první velký NMI experimentující s moderním způsobem řízení – je spravován soukromou firmou, systém GOCO – www.npl.gov.uk;
- SMÚ (Slovenský metrologický ústav) Slovensko – pokračovatel bývalého federálního ČSMÚ Bratislava, při dělení federace byl majetek rozdělen podle územního principu (většina státních etalonů federace tedy v r. 1993 zůstala v SR) – www.smu.gov.sk;
- METAS Švýcarsko – z pohledu vědeckých výsledků jeden z nejlepších NMI v menších evropských zemích (spolu s SP Švédsko a NMi Holandsko – pozor, neplést zkratku s NMI) – www.metas.ch;

Vrcholnou úroveň návaznosti zajišťují také některé instituty mezinárodního charakteru. Nejvýznamnější z těchto institucí jsou:

- BIPM (Mezinárodní úřad pro míry a váhy) Sevres u Paříže – výkonný organizační útvar (laboratoř) Metrické konvence, uchovává poslední mezinárodní etalon (hmotnost - 1 kg) ve formě artefaktu – viz též www.bipm.org;
- EC JRC (Joint Research Centre) IRMM (Institute for Reference Materials and Measurement) Geel, Belgie – jeden ze 7 výzkumných ústavů řízených Evropskou komisí zaměřený především na metrologii v chemii (spolu s NIST největší světový výrobce referenčních materiálů, především v anorganické oblasti), někdy projevuje ambice stát se „Evropským metrologickým institutem“, podporuje aktivity v metrologii v chemii v kandidátských zemích (školení MiC Training - již 2x v ČR) – viz též www.jrc.cec.eu.int.

Podoba velkých národních metrologických institutů má zpravidla tradiční charakter vědeckých ústavů. Ekonomicko – organizačně jsou to českým pohledem organizační složky státu. V současné době je většina světových NMI vlastněná státem, provozovaná soukromou firmou na smluvní bázi. Sleduje se tím vyšší motivace k úsporám nákladů a k přechodu na vícezdrojové financování, včetně různých metrologických výkonů – je odraz napjaté situace

státních rozpočtů ve většině zemí. Navíc se u menších zemí projevuje logická tendence orientovat se více na různé činnosti placené zákazníky (centra služeb nejvyšší metrologické úrovně), protože předpoklady pro úspěšný (zejména základní) výzkum nejsou příliš příznivé. U ČR je situace zkreslena vyšším relativním podílem odpisů. Z rozboru však jednoznačně plyne, že efektivnost českého sektoru fundamentální metrologie z hlediska požadavků na státní rozpočet je na maximu možností.

Akreditační norma ISO 17025:1999 požadovala návaznost na státní či mezinárodní etalony - v polovině 90. let minulého století začaly akreditační orgány poukazovat na fakt, že NMI a BIPM jako správci těchto etalonů nemají povětšinou zaveden žádný systém managementu kvality, který by prokazoval jejich technickou způsobilost. Z tohoto důvodu bylo pod vedením BIPM připraveno a v říjnu r. 1999 podepsáno Ujednání o vzájemném uznávání státních etalonů a kalibračních certifikátů vydaných NMI (zkratka CIPM MRA). Toto ujednání, mimo čistě technickou stránku věci, vlastně zavádí jasně technicky vyjádřenou (přes kalibrační a měřicí schopnosti – CMC) konkurenci mezi NMI.

Klíčovou roli v metrologii (a zejména té fundamentální) hraje pojem metrologické návaznosti výsledků měření. Jeho definice zní (VIM 6.10): Taková vlastnost výsledku měření nebo hodnota etalonu, že lze prostřednictvím nepřerušného řetězce porovnání, u nichž je vždy stanovena nejistota, prokázat jeho vztah ke stanoveným referencím, obvykle státním nebo mezinárodním etalonům. Další běžně používané pojmy v metrologii budou probrány v modulu o obecné metrologii. Důležité je uvědomit si významový rozdíl mezi pojmy státní etalon a primární etalon:

Státní etalon (VIM 6.3) – etalon stanovený rozhodnutím státu k tomu, aby v dané zemi sloužil jako základ pro přiřazování hodnot jiným etalonům předmětné veličiny. Státní etalony České republiky definují nebo reprodukují hodnoty měřicích jednotek na nejvyšší metrologické úrovni v České republice a jsou základem jednotnosti a přesnosti měření na území celého státu. Státní etalony slouží k realizaci jednotek jednotlivých veličin a jejich přenosu z mezinárodních etalonů na etalony nižších řádů v rámci systému metrologické návaznosti měření a měřidel na území ČR.

Primární etalon (VIM 6.4) – etalon, který je široce uznáván nebo konstruován tak, že má nejvyšší metrologické kvality a jehož hodnota je akceptována bez vztahu k jiným etalonům stejné veličiny.

Systém fundamentální metrologie je v mnoha zemích, včetně ČR, částečně nebo úplně decentralizován s tím, že systém je koordinován pilotním národním metrologickým institutem tak, jak je ustaven národní legislativou. Využívá se kapacit specializovaných laboratoří, pracovišť výzkumu, univerzit, s cílem optimalizovat poměr nákladů a výstupů. Ekonomická náročnost tohoto segmentu metrologie vedla brzy také ke sdružování národních metrologických institucí – například instituty zemí EU vytvořily sdružení EUROMET (nyní EURAMET e.V.). Jehož plným členem je od r. 1996 také ČMI.

Úkolem průmyslové metrologie je zabezpečit kvalitu výroby a služeb. Je také nejvýznamnější složkou systému a to proto, že předurčuje konkurenceschopnost výrobce, obchodníka i národního hospodářství. Stát se v této oblasti stáhl z globální úrovně a bývalé direktivní řízení státem je nahrazováno posuzováním technické způsobilosti třetí stranou (akreditace ČIA) – tomuto v moderní tržní ekonomice jde o tzv. neregulovanou sféru metrologie. Měřicí technice a metrologickému zabezpečení věnují vyspělé firmy stále větší pozornost a vybavení podniků měřidly se nebývale zdokonaluje. Dalším významným rysem vývoje je to, že metrologická služba se stala předmětem podnikání a je poskytována v typickém konkurenčním prostředí. Důvěryhodnost služby se v této situaci opírá právě o posuzování technické způsobilosti třetí stranou, zpravidla jde o akreditaci podle ISO 17025:2005 (ČSN ISO 17025:2005) – existují i alternativní přístupy, viz modul o systémech managementu kvality. Patří sem především akreditované (nyní celkem 106 laboratoří – viz www.cai.cz) a neakreditované kalibrační laboratoře, které nabízí své služby kalibrace etalonů a pracovních měřidel (správně „pracovní měřidla nestanovená“) zákazníkům na komerční

bázi, a měrová střediska (laboratoře) podniků, jejichž těžištěm činnosti je kalibrace měřicí techniky mateřského podniku. Jejich počet v poslední době dramaticky klesl v důsledku rozšíření outsourcingu, smluvního přenesení starosti o ošetřování vlastní měřicí techniky na vnější subjekt. Počet akreditovaných laboratoří v ČR je v porovnání se srovnatelnými zeměmi nejvyšší (ČR – cca 100 subjektů, Rakousko – 15, Irsko – 10, Holandsko – 72), takže v ČR je konkurence na tomto trhu služeb velmi tvrdá. Celkový rozsah a základní pravidla jsou v oblasti průmyslové metrologie určovány především požadavky norem systémů jakosti ISO 9000 (od konce roku 2003 výhradně systém norem ISO 9000:2000) a jejich klony, např. ISO/TS 16949:2002 pro automobilový průmysl. Po vydání systému norem ISO 9000:2000 založeném na procesním přístupu se v poslední době objevila řada norem, které tento přístup vytrhují ze souvislostí a aplikují je na určité úzce vymezené oblasti např. ISO 10012:2003 (aplikace na procesy měření), ISO EN 13485:2003 (v aplikaci na zdravotnické prostředky). Účel takových norem je pochybný, pokud nedávají podrobný návod pro danou oblast. Technicky nejdůležitějším prvkem systému managementu kvality laboratoří podle akreditační normy je mezilaboratorní porovnávání zkoušek (anglická zkratka ILC) v oblasti kalibrace či zkoušení způsobilosti (anglická zkratka PT) v oblasti zkoušení. V rámci akreditačního systému tak působí několik poskytovatelů těchto služeb (jedním z nich je ČMI pro oblast kalibrace), kteří se postupně na tuto činnost akreditují podle metodického pokynu ČIA MPA 20-01-00 (ČMI je akreditovaným poskytovatelem od r. 2003).



Shrnutí kapitoly

Subjekty NMS, návaznost NMS, vztahy mezi prvky NMS.



Kontrolní otázky

- O 1.4.5 Co tvoří vrchol NMS?
- O 1.4.6 Do které oblasti metrologie patří metrologická pracoviště podniků?
- O 1.4.7 Co je to státní etalon?
- O 1.4.8 Co je úkolem průmyslové metrologie?

1.4.3 Strategie rozvoje NMS v ČR



Čas ke studiu: 3 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat silné a slabé stránky NMS.
- Popsat strategii rozvoje národního metrologického systému.



Výklad

V současné době jsou hnací silou rozvoje národního metrologického systému politické a hospodářské změny spočívající v otevírání ekonomiky globálnímu trhu, členství v EU, členství v NATO, principy vzájemného uznávání certifikátů nejrůznějších zkoušek, restrukturalizace českého průmyslu a zavádění nových technologií (FDA – přímé zahraniční investice). To vše vyžaduje rozvoj národního metrologického systému. Jeho současný stav má při svých přednostech a silných stránkách také řadu nedostatků, které je nutné odstranit, i když obecně lze konstatovat, že ČMI je v současné době co do technických možností a co do šíře zabezpečovaných činností plně srovnatelný či lepší ve srovnání s instituty menších evropských zemí. Kompetentní orgány věnují tomuto problému přiměřenou pozornost a jedním z projevů této pozornosti jsou koncepce rozvoje schválené usnesením Vlády ČR.

Silnými stránkami současného českého metrologického systému jsou:

- tradice silné infrastruktury průmyslové metrologie,
- pokročilá (nikoliv však ideální) právní úprava,
- stabilizovaný Český metrologický institut se snadno dostupnými regionálními pracovišti,
- vysoká kvalifikace odborných pracovníků,
- rostoucí uvědomění si významu a přínosů metrologie u řídicích pracovníků,
- relativně nízká cena pracovní síly,
- dobré až prestižní postavení v nadnárodních metrologických organizacích, které bylo získáno mimořádným úsilím ÚNMZ a ČMI v posledních letech.

Na druhé straně za soudobé slabiny systému, které jsou ovšem rychlým rozvojem ČR postupně překonávány, lze považovat:

- Technické předpoklady v některých oblastech. Přes intenzivní rozvoj není stále ještě úplně překonán vliv dlouholeté izolace od vyspělých zemí a zařízení na úrovni metrologického institutu je (již v malé míře) zastaralé a zejména nejsou k dispozici dostatečné a přiměřeně kvalitní laboratorní prostory.
- Problémy právního a organizačního stavu systému. I když má ČR právní úpravu metrologie koncipovanou jako jednotnou, vznikly časem určité nesystémové odchylky od tohoto ideálního stavu. Podstatou problémů je nedostatečná provázanost mezi resorty a uplatňování nesystémových resortních zájmů. To vede někdy k nadbytečným duplicitám (resortní laboratoře zasahující do úrovně fundamentální metrologie), k nižšímu využití kapacit a kvalifikace a podobně. V tomto smyslu nelze existující legislativní základnu na úrovních nižších než je úroveň zákona považovat za vyhovující.
- Nedostatečně chápaný podíl vědy a výzkumu v metrologii. Toto nepochopení vede k problémům s financováním rozvojových projektů a k fragmentaci zdrojů.
- Ekonomické problémy - například malý vnitřní trh, platební schopnost zákazníků.
- Nevhodný systém financování činností zajišťovaných ve veřejném zájmu, zejména činností fundamentální metrologie, financování technického rozvoje a výkonu dozorových činností. Dosavadní systém dotací spočívá v přidělování prostředků na roční etapy, bez střednědobé koncepce zdrojů. To vede k nestabilitě programu i pracovních skupin a snižuje efektivnost řízení.

Možnosti rozvoje, příležitosti:

- současný trend k odstraňování politických a technických překážek pohybu peněz, zboží, pracovních sil,
- probíhající restrukturalizace průmyslu a zavádění nových technologií,
- potřeba podpory konkurenceschopnosti hospodářství,
- otevřené možnosti mezinárodní spolupráce,
- působení na jednotném trhu EU od 1. 5. 2004 (rozšíření možností kalibrace).

K využití těchto možností je nezbytná permanentní modernizace technického zázemí, zdokonalování systémů jakosti, systematický rozvoj v oblasti vědy, výzkumu a vzdělávání. Významné je také uplatňování metrologie v oborech pro tuto službu nových nebo skutečně nově vznikajících jako je metrologie v chemii, biologii, lékařství atd.

Mezi přímo ohrožujícími faktory lze uvést (i když jsou již postupně řešeny):

- do určité míry nestabilní a nekoncepční financování činností vykonávaných ve veřejném zájmu (příspěvkové organizace jako jediný druh právnických osob v ČR (!) musí odepisovat majetek pořízený z dotací),
- nedostatečná podpora specifické vědecko-výzkumné činnosti.

Nebezpečí spočívá v nedostatečném přizpůsobení se systému EU, v problémech s plněním předpokladů dohody CIPM MRA a širších obchodních dohod a tím ve snížení konkurenceschopnosti proti zemím, které příslušné trendy včas zachytily. Situace v ČR je o to náročnější, že v době, kdy vyspělé evropské země silně investují a rozvíjejí metrologickou infrastrukturu pro příští tisíciletí, musela ČR navíc řešit problémy vzniklé po rozdělení Československa ztrátou větší části laboratoří fundamentální metrologie.

Vláda ČR svým usnesením ze dne 13. 12. 1999 č. 1323/99 uložila ministru průmyslu a obchodu zpracovat koncepci rozvoje metrologického systému v České republice k realizaci usnesení 21. Generální konference pro váhy a míry a předložit vládě návrh této koncepce. Přijatá usnesení Generální konference zdůrazňují význam vzájemného uznávání etalonů a certifikátů a příslušných dohod, dále doporučují členským státům Metrické konvence, aby podpořily rozvoj výzkumu v oblastech metrologie délky, hmotnosti, frekvence a času, teploty a zdůrazňují význam metrologie v chemii, lékařství a biotechnologii. Stejně důležitým motivem bylo podepsání ujednání CIPM MRA. Návrh koncepce byl předložen vládě ČR v srpnu 2000 a schválen v usnesení vlády ČR č. 812/2000 z 23. srpna. V r. 2004 bylo vládou přijato návazné usnesení č. 1250/2004 o rozvoji NMS v letech 2005 – 2010 – oba dokumenty jsou k dispozici na webových stránkách www.unmz.cz a www.cmi.cz. V r. 2007 se k tomu přidal speciální projekt iniciovaný MPO „Flexibilní metrologický systém“, který má zesílit působení metrologie ve směru podpory podnikání.

Velmi důležitým prvkem strategie rozvoje NMS je koncepční systém identifikace nových potřeb hospodářství v oblasti metrologie (foresight analýzy) a včasné reakce na tyto nové potřeby. Stačí zmínit obory, jako jsou mikroelektronika – malé rozměry, vakuum – netěsnosti, vlhkost plynů, velké rychlosti přenosu signálu, komunikace – informační svět, vědecký výzkum, fyzika, kosmická technika, chemie – analytická měření, nové materiály, ochrana životního prostředí, voda a potraviny jako světový problém, biologie, lékařství a hygiena. V popředí zájmu všech NMI je v současné době technicky i koncepčně velmi složitá problematika, kterou lze shrnout pod název metrologie v chemii a biologii. ČMI situaci sleduje a analyzuje s cílem proniknout do této oblasti, bude-li rozumná pravděpodobnost dosažení úspěchu, nicméně v současné době ještě stále nejsou vyčerpány možnosti rozvoje v oblasti fyzikální metrologie, což je základní a klíčová oblast působnosti ČMI.

Metrologie pro 21. století nabývá i nečekaných znaků. Zejména ve vyspělých zemích se uplatňují rysy spotřební společnosti, která kromě nebo dokonce i místo klasických údajů

o hmotnosti, rozměrech, výkonech věcí vyžaduje údaje o vlastnostech popisujících zjev a působení výrobků, jako jsou například barva, lesk, vůně, snadnost ovládání, "intelligence" („soft“ metrologie). Odtud požadavky na senzorické zkoušky, na nové techniky měření a zpracování údajů. Nové technologie vyvolávají extrémní požadavky na kvalitu výrobků a služeb, požadavky na stabilitu parametrů. Nové techniky měření jsou požadovány i prostředím s rostoucí produktivitou práce - například dynamická vážení, měření pro velkoobjemové přepravy, pro produktovody, vakuovou techniku, pro nové technologie v potravinářství a zemědělství atd. Přesnost pracovních měřidel prudce vzrostla. Zavádí se měřicí systémy a vestavěná intelligence přístrojů. Objevuje se automatizované zavádění korekcí a omezování počtu etalonů potřebných ke kalibraci využitím metod autokalibrace. Rozvíjí se etalony na základě nových fyzikálních jevů (kvantové etalony, single electron tunnelling - SET).

Klasický obor metrologie délky se obrací k laserové technice, k souřadnicovým měřicím strojům, k měření velkých součástí (letecký průmysl, stavba lodí, turbíny) a na druhé straně k měřením mikroskopických objektů, k nanotechnologiím.

Metrologie elektrických veličin si musí poradit s extrémními velikostmi signálů, s EMC, s hodnocením signálů v nových modulačních metodách, v mobilních komunikacích a podobně, s kmitočty v oblasti desítek GHz. S digitalizací ztrácí poněkud význam v metrologie, na druhé straně velmi důležité potřeby metrologie se objevují v oblasti střídavého výkonu a energie (návaznost na liberalizaci trhu energií). Primární etalony oboru jsou realizovány na bázi kvantových jevů (Josephsonův jev, kvantový Hallův jev), v dohledné době se předpokládá zavedení kvantového etalonu proudu.

Samostatnou kapitolou je metrologie v chemii, metrologie látkového množství. Ohromný rozsah výkonů a ekonomická významnost těchto měření (50 % všech měření!) vyvolávají stálou pozornost metrologických institucí včetně orgánů Metrické konvence. Problémem a výzvou pro metrologii je pestrost používaných metod a přístrojových technik a složitost popisu měřených jevů.

Takto by bylo možné probrat obor za oborem a zaznamenat významné uplatnění výsledků současného vědeckého, technologického i společenského vývoje. Kromě nových technik měření bychom zaznamenali také nové nebo mnohem intenzivněji a rutinně využívané nástroje - matematické metody zpracování dat, využívání algoritmizace a strukturování údajů, využívání redundance dat, prolínání datových struktur, aplikaci metod simulace a modelování experimentu. Mezi technické rysy patří nepochybně také významný přesun metrologického výkonu z laboratoře na místo užití - k zákazníkovi a stále ve větším rozsahu i využití prostředků internetu pro kalibrační službu.

Pro úplnost lze uvést, že k problematice metrologie se váží následující usnesení vlády:

č. 1291/1999 k Návrhu metrologického zabezpečení členství ČR v NATO;

č. 1323/1999 k Informaci o průběhu a výsledcích 21. zasedání Generální konference pro míry a váhy;

č. 812/2000 k Návrhu koncepce rozvoje metrologického systému ČR;

č. 1250/2004 k Návrhu koncepce rozvoje metrologického systému ČR.



Shrnutí kapitoly

Silné stránky NMS, slabé stránky NMS, možnosti rozvoje NMS.



Kontrolní otázky

- O 1.4.9 Které jsou důležité prvky rozvoje NMS?
- O 1.4.10 Patří náš právní systém k silným stránkám NMS?
- O 1.4.11 Objevuje se mezi silnými stránkami NMS také vysoká kvalifikace odborných pracovníků?

1.4.4 Mezinárodní metrologická spolupráce



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat strategické cíle české metrologie v rámci mezinárodní spolupráce.
- Popsat jak těchto cílů dosáhnout.



Výklad

Mezinárodní spolupráce je velmi důležitou aktivitou v metrologii obecně, zejména v dnešní době, kdy v důsledku obrovského rozvoje dopravy a telekomunikací se svět stává globální vesnicí. Metrologie navíc v nějaké podobě existuje snad ve všech zemích na světě, takže toto pole je velmi široké. Pro českou metrologii má specifický význam v tom, že významně přispěla k rychlému dosažení průmyslem požadované úrovně po rozpadu federace, kdy většina státních etalonů zůstala na Slovensku.

Strategické cíle, které česká metrologie obecně v mezinárodní spolupráci sleduje, jsou následující:

1. zapojení do mezinárodní dělby práce v metrologii;
2. aktivní účast na tvorbě harmonizovaných metrologických předpisů;
3. prosazování vlastních koncepcí rozvoje metrologie v regionálním a světovém měřítku;
4. systematické získávání nových informací pro technický rozvoj v jednotlivých oborech měření a zvyšování odborné kvalifikace pracovníků;
5. zvyšování úrovně metrologické návaznosti v ČR prostřednictvím účasti na různých typech mezinárodních porovnání etalonů.

Pro dosažení těchto cílů se intenzivně využívají následující druhy mezinárodní spolupráce:

- účast na projektech pomoci zemí OECD zemím střední a východní Evropy v dřívějších letech (EU-PHARE, PRAQ, G24 Švýcarsko, PSO Holandsko),
- přímá účast na činnosti mezinárodních organizací metrologie,
- bilaterální spolupráce se špičkovými národními metrologickými ústavy,

- aktivní i pasivní účast na konferencích, seminářích, workshopech apod.,
- publikace v zahraničních časopisech,
- zahraniční stáže specialistů ČMI v renomovaných ústavech (NIST USA, NPL V. Británie, PTB Německo),
- podíl na společném řešení vědecko-výzkumných úkolů (např. v rámci EURAMETu e.V.), program EMRP či na projektech v rámci Rámcových programů podpory vědy a výzkumu EU,
- účast na všech druzích mezinárodních porovnáních zkoušek (EURAMET, EA, Metrická konvence).

Globalizace světové ekonomiky v posledních letech vytváří značný tlak na uzavírání různých druhů obchodních dohod mezi světovými regiony, které jsou ve svých samotných základech založeny na vzájemném uznávání různých metrologických výkonů (kalibrace etalonů všech druhů včetně státních, typová schválení, prvotní ověřování stanovených měřidel). Rozhodující roli tady hraje technická způsobilost příslušných metrologických laboratoří, kde se došlo v posledních letech k závěru, že nezastupitelnou roli zde hraje horizontální návaznost vytvářená prostřednictvím porovnávacích zkoušek. Tento trend vedl ke značnému zintenzivnění mezinárodních spolupráce, při které musí existovat určitá dělba práce mezi národními autoritami metrologie včetně menších a ekonomicky slabších zemí. Poslední roky byly z tohoto pohledu zvlášť náročné pro ČR, potažmo ČMI.

Z hlediska mezinárodních vládních metrologických organizací ČMI zajišťuje členství ČR v Metrické konvenci a Mezinárodní organizaci legální metrologie (OIML). Obě organizace byly založeny diplomatickou smlouvou registrovanou na Ministerstvu zahraničí Francie se sídlem v Paříži. Struktura obou organizací je analogická a je dána 3 základními prvky: vrcholným orgánem je vždy konference, která se schází normálně 1 x za 4 roky a která provádí základní kontrolu činnosti organizace (CGPM resp. CGML). Na tyto konference jsou vysílány oficiální vládní delegace tvořené obvykle předsedou ÚNMZ a generálním ředitelem ČMI. V období mezi konferencemi jsou organizace řízeny příslušnými výbory (CIPM, CIML), které rozhodují o zásadních věcech při řízení příslušných výkonných těles BIPM (Mezinárodní úřad pro míry a váhy – www.bipm.org) resp. BML (Mezinárodní úřad pro legální metrologii – www.oiml.org), obě se sídlem v Paříži. Obě mezivládní organizace vydávají vlastní pravidelné publikace: časopis Metrologia a OIML Bulletin. Tato struktura je doplněna systémem technických komisí, které připravují návrhy k problémům spadajícím do jejich kompetence (Comites Consultatifs, CC resp. technické komise a subkomise, TC, SC). Každá členská země je povinná platit určitý členský poplatek, který obvykle závisí na její velikosti a HDP.

Česká republika je de iure členem Metrické konvence od jejího založení 20. 5. 1875. Základním posláním Metrické konvence je zajišťování jednotnosti a správnosti měření na špičkové úrovni v globálním měřítku (tzn. základní konstanty, mezinárodní soustava jednotek SI, vývoj a vzájemné porovnávání primárních a dalších etalonů). Členství v Metrické konvenci umožňuje bezplatnou kalibraci státních etalonů ČR v BIPM Paříž, což ČMI organizuje i pro jiné organizace a maximálně využívá.

Hlavním dlouhodobým úkolem BIPM je správa mezinárodního systému jednotek SI, k tomu je pravidelně vydáván komplexní sborník, tzv. SI – brožura (SI Brochure).

Z iniciativy NMI se BIPM též ujal úkolu vypracovat dokument o významu metrologie pro hospodářství a celou společnost, který by byl použit k širší propagaci (fundamentální) metrologie včetně přesvědčování vlád členských zemí, aby neredukovaly finanční podporu. Nyní je k dispozici 2. verze této zprávy, jejímž autorem je p. R. Kaarls s názvem „Evolving needs for Metrology in Trade, Industry and Society and the Role of BIPM“. Těžištěm činnosti orgánů Metrické konvence byla v poslední době příprava a hlavně realizace ujednání CIPM MRA – záležitost vynucená výše uvedeným procesem uzavírání globálních obchodních

dohod. Zajímavostí je, že BIPM zadal studii ekonomického dopadu tohoto ujednání u finančně auditorské firmy KPMG – přínosy pro světový obchod odstraněním určitých překážek obchodu byly vyčísleny na poměrně optimistické 4 miliardy USD ročně. Značný význam pro metrologickou komunitu mají školení a stáže pracovníků NMI v BIPM, pořádají se letní školy pro mladé vědecky orientované pracovníky z NMI, na které ČMI pravidelně vysílá své pracovníky.



Shrnutí kapitoly

Mezinárodní spolupráce.



Kontrolní otázka

O 1.4.12 Patří mezi cíle mezinárodní spolupráce zvyšování nákupu měřicích zařízení?

1.5 ZÁKON O METROLOGII

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

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

Budete umět

Budete schopni:

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

Budete schopni

1.5.1 Legislativní rámec



Čas ke studiu: 1 hodinu



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Popsat jak a proč vznikaly jednotlivé zákony o metrologii.



Výklad

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

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



Shrnutí kapitoly

Zákon č. 505/1990 Sb., zákon č. 119/2000 Sb.



Kontrolní otázka

O 1.5.1 Podle čeho vznikl první zákon o metrologii 505/1990 Sb.?

1.5.2 Rozdělení měřidel dle zákona o metrologii



Čas ke studiu: 0,6 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Účel zákona o metrologii.
- Druhy měřidel dle zákona o metrologii.



Výklad

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

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

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

Používání měřidel

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

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

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

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



Shrnutí kapitoly

Etalony, stanovená měřidla, pracovní měřidla, certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály.



Kontrolní otázky

- O 1.5.2 Co je účelem zákona o metrologii?
- O 1.5.3 Co jsou to etalony?
- O 1.5.4 Pracovní měřidla jsou která?

1.5.3 Institute činné v metrologii



Čas ke studiu: 6 hodin



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Popsat jednotlivé instituce činné v metrologii.
- Vyjádřit, co má která instituce za povinnosti.



Výklad

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

V České republice nejvyšší institucí působící v oblasti metrologie je:

1.5.3.1 Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR (MPO), které:

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

Aby byla zabezpečena jednotnost a správnost měření, tak na to máme právní předpisy. A k právním předpisům i úřady:

1.5.3.2 Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) - byl zřízen zákonem České národní rady č. 20/1993 Sb., o zabezpečení výkonu státní správy v oblasti technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví jako orgán státní správy pro předmětné činnosti. ÚNMZ je organizační složkou státu v resortu MPO.

- sídlí v Praze (řídící orgán),
- zabezpečuje úkoly vyplývající ze zákona o metrologii a navazujících vyhlášek a úkolů v oblasti sbližování technických předpisů a norem ČR s dokumenty EU,
- stanovuje program státní metrologie a zabezpečuje jeho realizaci,
- zastupuje Českou republiku v mezinárodních metrologických orgánech a organizacích, zajišťuje úkoly vyplývající z tohoto členství a koordinuje účast orgánů a organizací na plnění těchto úkolů i úkolů vyplývajících z mezinárodních smluv,
- autorizuje subjekty k výkonům v oblasti státní metrologické kontroly, měřidel a úředního měření, pověřuje oprávněné subjekty k uchovávání státních etalonů, pověřuje střediska kalibrační služby a kontroluje plnění stanovených povinností u všech těchto subjektů, při zjištění nedostatků v plnění stanovených povinností může autorizaci odebrat,
- uděluje souhlas s navázáním hlavních etalonů na etalony zahraničních subjektů se srovnatelnou metrologickou úrovní,
- provádí kontrolu činnosti Českého metrologického institutu,
- poskytuje metrologické expertizy, vydává osvědčení o odborné způsobilosti metrologických zaměstnanců a stanoví podmínky za účelem zajištění jednotného postupu subjektů pověřených 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, střediska kalibrační služby, státní etalony, seznamy certifikovaných referenčních materiálů a schválené typy měřidel atd.,
- plní úkoly podle zvláštních předpisů.

Aby mohlo probíhat objektivní rozhodování při zabezpečování úkolů technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví, a aby to bylo v souladu s požadavky ministerstev nebo jiných úředních správních úřadů a hospodářské sféry zřizuje předseda Úřadu své poradní orgány. Poradní orgány ustanovené předsedou Úřadu v současné době jsou:

- Rada pro technickou normalizaci,
- Rada pro metrologii,
- Komise pro posuzování shody.

Úkolem Rady pro metrologii je napomáhat objektivnímu řízení rozvoje metrologie a optimálnímu zabezpečování jednotnosti a správnosti měřidel a měření v hospodářské sféře, státní správě a zájmových institucích. Předseda Úřadu také ustanovuje členy Rady pro metrologii. Posláním rady je zřizovat technické komise pro jednotlivé obory měření, které se zabývají specifickými technickými otázkami.

1.5.3.3 Český metrologický institut (ČMI)

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

Institut byl založen v r. 1993 jako důsledek rozdělení bývalé Česko-slovenské federace jako národní metrologický institut ČR. ČMI je právně-ekonomicky státní příspěvkovou organizací zřízená MPO, takže pro něj platí všechny právní normy jako státní organizace (např. zákon o zadávání veřejných zakázek, cenové předpisy, požadavky nezávislosti a neúplatnosti, kontroly NKÚ apod.). S vydáním zákona č. 137/2002 Sb. přestal být Institut formálně orgánem státní správy – v souladu se správním řádem (zákon č. 71/1967 Sb.) může i subjekt, který není orgánem státní správy, provádět činnosti státní správy, pokud jsou mu svěřeny zákonem (v případě ČMI zákonem o metrologii). Z ekonomického hlediska je institut rozdělen na výkonová a administrativní střediska, ke kterým se přiřazují příslušné náklady a výnosy. Výkonová střediska jsou dále seskupena do 3 základních oblastí metrologie. Vzhledem k tomu, že všechny finanční prostředky proudící do institutu jsou zpracovávány formou úkolů technického rozvoje s nezávislými oponenturami, vede tento systém k průhlednému financování, které umožňuje vyčíslení všech potřebných ukazatelů.

Podle zřizovací listiny jsou základní činnosti institutu tyto:

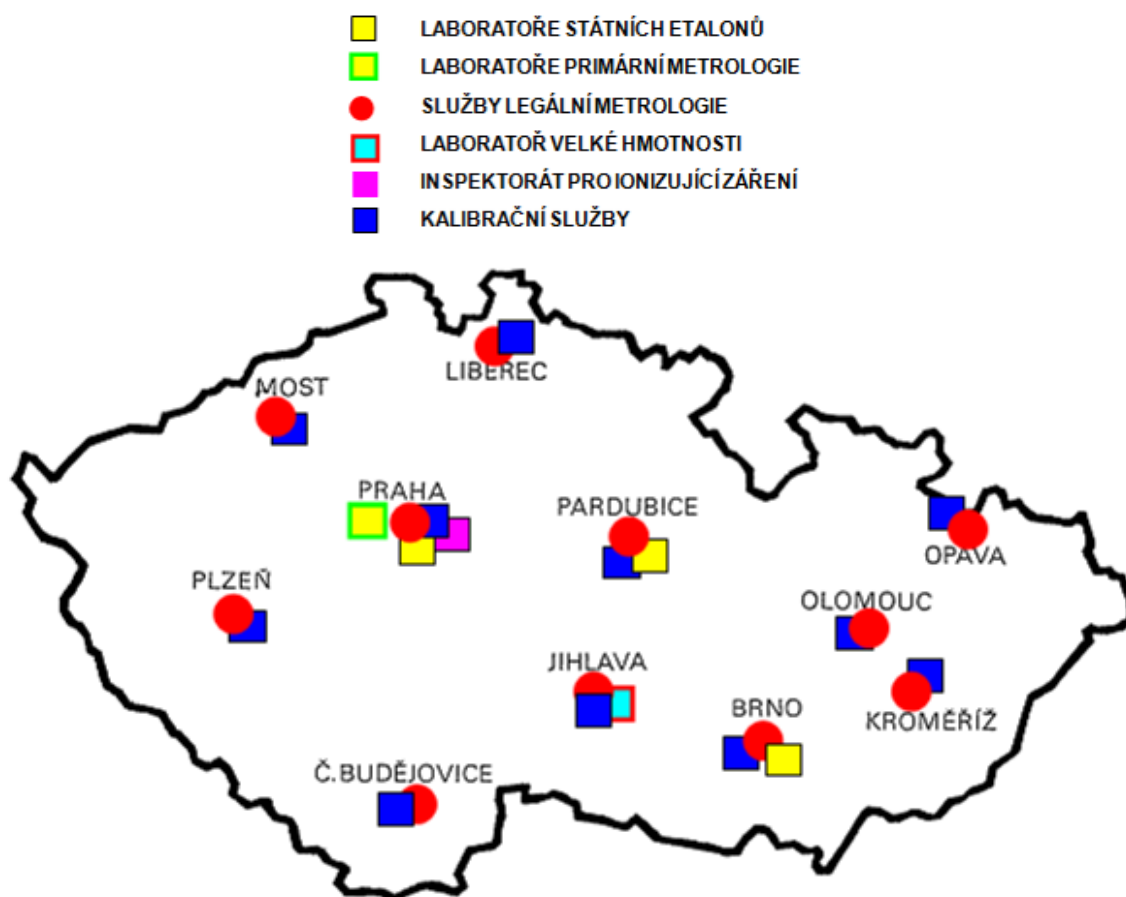
- fundamentální metrologie - rozvoj, uchovávání a mezinárodní porovnávání státních etalonů,
- průmyslová metrologie - zabezpečení návaznosti měření na nejvyšších stupních návaznosti, kalibrační služba,
- legální metrologie - schvalování typů měřidel, ověřování stanovených měřidel, metrologický dozor.

Úkolem ČMI je:

- uchování a technický rozvoj státních a ostatních primárních etalonů, včetně přenosu hodnoty měřících jednotek na sekundární etalony,
- uchování sekundárních etalonů nejvyšších řádů,
- výkon státní metrologické kontroly měřidel (schvalování typu tuzemských a dovážených měřidel, prvotní a následné ověřování stanovených měřidel),
- státní metrologický dozor,

- certifikace referenčních materiálů, personálu a výrobků (měřidel),
- vědecká, vývojová a výzkumná činnosti v oblasti metrologie,
- kalibrace měřidel v majetku nebo v užívání právnických a fyzických osob,
- zabezpečování mezinárodní spolupráce v oblasti metrologie,
- posuzování technické způsobilosti AMS, organizace mezilaboratorního porovnávání zkoušek,
- poskytování metrologických expertíz, vydávání osvědčení a odborných posudků,
- poskytování technických metrologických výkonů,
- v omezeném rozsahu výroba a opravy měřidel.

Pracoviště ČMI mají i z historických důvodů regionální strukturu. Jsou ve většině významných regionálních center České republiky. Zřízeno je 7 regionálních inspektorátů Praha, Plzeň, České Budějovice, Liberec, Pardubice, Brno, Opava a 4 pobočky Most, Jihlava, Kroměříž, Olomouc.



Obr. 3 Organizační struktura ČMI

1.5.3.4 Autorizovaná metrologická střediska

Autorizovaná metrologická střediska (AMS), úřední měřiči a registrované subjekty pro výrobu, opravu a montáž stanovených měřidel (praktická zkratka – správně „pracovní měřidla stanovená“) působí v tzv. regulované sféře metrologie vymezené zákonem o metrologii a návaznými vyhláškami. AMS provádí prvotní a následné ověřování stanovených měřidel na základě autorizace udělené ÚNMZ po prověření jejich technické

způsobilosti ČMI nebo ČIA. Na udělení této autorizace není právní nárok, takže při jejím neudělení nemůže z principu jít o nějaké porušení základních lidských svobod. Při udělování autorizací je totiž třeba zvažovat míru kompromisu mezi požadavkem na jejich nezávislost při rozhodování (ideální v monopolním postavení) a kvalitou a šíří nabídky těchto činností, které jsou vynucovány zákonem (ideální v konkurenčním prostředí). Analogicky jsou úřední měřiči autorizováni ÚNMZ k provádění výkonů (např. měření úrovně hluku ve sporných případech apod.), o jejichž výsledku vydávají doklad, který má charakter veřejné listiny. Jde o činnost, která je svým charakterem blízká tomu, co provádějí soudní znalci. Registrace subjektů má především preventivní charakter: určitou prověrkou jejich způsobilosti k daným výkonům se má předcházet případům následného zamítnutí ověření těchto měřidel ze strany ČMI či AMS. Technické požadavky a postupy zkoušení při ověřování však budou v dohledné době pregnančně popsány ve vyhláškách MPO k jednotlivým měřidlům, takže institut registrace se již zjevně do značné míry přežil. Navíc existují názory, že je tento požadavek v rozporu s evropskou legislativou (Dohoda o založení ES, svoboda usazování se, v členských zemích). Novela zákona o metrologii č. 119/2000 Sb. zavedla u vedoucích AMS požadavek prokázání kvalifikace k výkonu této činnosti – v návaznosti na to se několik subjektů včetně ČMI nechalo akreditovat jako certifikační orgán pro personál v metrologii. Historicky zákon o metrologii stále ještě vyžaduje certifikaci referenčních materiálů (RM) – k tomu byl v rámci ČMI ustaven příslušný certifikační orgán na bázi akreditační normy a ISO návodů.

1.5.3.5 Střediska kalibrační služby

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

1.5.3.6 Český institut pro akreditaci (ČIA)

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

Český institut pro akreditaci (ČIA):

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

Jako národní akreditační orgán České republiky zabezpečuje ČIA akreditaci:

- zkušebních laboratoří,
- zdravotnických laboratoří,
- kalibračních laboratoří,

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



Shrnutí kapitoly

Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Český metrologický institut, Autorizovaná metrologická střediska, Střediska kalibračních služeb, Český institut pro akreditaci.



Kontrolní otázky

- O 1.5.5 Co je nejvyšší institucí v oblasti metrologie?
- O 1.5.6 Které jsou poradní orgány stanovené předsedou Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví?
- O 1.5.7 Která z institucí provádí kontrolu Českého metrologického institutu?
- O 1.5.8 Která z institucí provádí akreditaci zkušebních a kalibračních laboratoří?
- O 1.5.9 Co je úkolem Autorizovaných metrologických středisek?
- O 1.5.10 Jaký je základní úkol Českého metrologického institutu?

1.5.4 Základní jednotky SI soustavy



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat základní jednotky SI soustavy.
- Popsat jejich význam.



Výklad

Základní jednotky SI soustavy, které jsou součástí zákona o metrologii, jsou mezinárodně domluvené jednotky fyzikálních veličin. Tato soustava se skládá ze základních jednotek,

odvozených jednotek, násobků a dílů jednotek. Definici jednotek a uchování etalonů mezinárodně garantuje Bureau International des Poids et Mesures v Sèvres, v ČR je to Český metrologický institut.

Základních jednotek je 7 a jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 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

Definice základních jednotek

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

Kilogram – hmotnost mezinárodního prototypu kilogramu.

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

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

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

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

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

Praktická realizace jednotek

Délka – ta se realizuje pomocí několika doporučených vlnových délek záření laserů (čar atomu vodíku molekuly jódu a dalších lamp).

Hmotnost – český prototyp se porovnává s mezinárodním prototypem, který je slitinou Iridia a Platiny.

Čas – ten se realizuje pomocí frekvence atomových (cesiových) hodin. Mnoho těchto hodin se mezinárodně podílí na ustanovování časové stupnice TAI.

Elektrický proud – je doporučováno realizovat kvantovými etalony pomocí Josephsonova jevu a Hallova jevu.

Termodynamická teplota – se realizuje pomocí mezinárodní stupnice ITC-90 (interpolace definovaných teplotních bodů v rozsahu od 0,65 K do nejvyšších teplot měřitelných optickými pyrometry).

Látkové množství – to se realizuje pomocí poměru hmotností elementárních jedinců vůči atomu ^{12}C .

Svítivost – (ostatní fotometrické veličiny) těmito veličinami se zabývá mezinárodní laboratoř CIE.

Odvozené jednotky

Tabulka 2 Odvozené jednotky

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⁾	$^{\circ}\text{C}$	$1^{\circ}\text{C} = 1 \text{ K}$
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	$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$



Shrnutí kapitoly

Metr, kilogram, sekunda, ampér, kelvin, mol, kandela.



Kontrolní otázky

- O 1.5.11 Kolik je základních jednotek SI soustavy?
- O 1.5.12 Jaká je definice metru?
- O 1.5.13 Patří látkové množství mezi odvozené jednotky?

1.5.5 Nedostatky zákona o metrologii



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Popsat nedostatky současných zákonů o metrologii.



Výklad

Z hlediska potřeb rozvinuté tržní ekonomiky a členství ČR v EU má zákon o metrologii v platném znění zejména následující nedostatky:

- původní zákon č. 505/1990 Sb. byl již 3x novelizován, takže je značně nepřehledný a další novelizace je tak fakticky nepřijatelná;
- není zde úplně vymezena úloha MPO jako ústředního orgánu státní správy v metrologii;
- nestanovuje oprávnění pro MPO upravit detaily některých činností vyhláškami;
- ve stávající podobě je stále poplatný době svého vzniku v tom, že neke všem potřebným právním úkonům v metrologii je zde obsaženo příslušné zmocnění;
- nepodporuje poměrně hluboký zásah do celé struktury metrologických předpisů způsobený převzetím legislativy EU, zejména v neharmonizované oblasti;
- zásadní problematiku metrologického dozoru zákon neupravuje prakticky vůbec;
- v řadě případů nejasně formuluje práva a povinnosti subjektů (např. proces autorizace AMS), což je zdrojem neustálých rozporů v praxi;

- v některých oblastech stále ještě reguluje péči o měřidla v podnikatelské sféře (povinnost kalibrace hlavních etalonů, používání pracovních měřidel, střediska kalibrační služby);
- nepodporuje v praxi v některých případech potřebný institut prodloužení ověření stanoveného měřidla a institut zkrácených zkoušek;
- nadbytečně postihuje problematiku referenčních materiálů (v širším kontextu problematiky metrologie v chemii);
- neřeší obecně problematiku hotově baleného zboží, resp. metrologického zabezpečení této oblasti v souladu s novým doporučením OIML R 87 (bez vazby na značku „e“).

Jedním ze základních prvků řízení a rozvoje metrologie bylo v posledních letech usnesení vlády č. 812/2000 o rozvoji národního metrologického systému ČR. Toto usnesení vlády mj. předpokládalo schválení nového zákona o metrologii do r. 2005. V návaznosti na toto usnesení vlády bylo na společném zasedání vedení ÚNMZ a ČMI v dubnu 2003 rozhodnuto o okamžitém zahájení prací na přípravě návrhu věcného záměru nového zákona o metrologii jako základní počáteční fázi legislativního procesu, a to zhruba z následujících důvodů. Současně platný zákon o metrologii č. 505/1990 Sb. vznikl v letech 1989 až 1990, takže je již koncepčně zastaralý. Navíc byl již od té doby několikrát novelizován, takže je značně nepřehledný. V některých částech není dostatečně pregnantně formulován (např. autorizace subjektů), což v praxi vyvolává neúměrně velký počet sporů a stížností, a není též v plném souladu s Dohodou o založení ES (např. kalibrace měřidel, registrace subjektů). Mimo zmíněné Dohody bude východiskem též metrologická legislativa okolních zemí (Německo, Rakousko, Slovensko), kde historicky existuje značná vzájemná kompatibilita, nyní novelizovaný vzorový zákon o metrologii OIML (Dokument OIML D 1) a poznatky z uplatňování zákona v metrologické praxi systematicky shromažďované již po nějakou dobu. Problematika uvádění měřidel pod režimem směrnic nového přístupu EU na trh a do oběhu bude ze zákona vyčleněna – je u nás spravována zákonem č. 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky. Při přípravě věcného záměru bylo možné navázat na dílčí úkol programu rozvoje metrologie z r. 2001 (řešitel ČMI), kdy byl návrh věcného záměru podroben oponentuře i z pohledu formální úplnosti věcného záměru tak, jak je předepsáno. Podrobně pojednává o klíčové otázce kompatibility metrologické legislativy s legislativou EU a dalšími mezinárodními dokumenty jiný modul školení.

V rámci státní metrologie byl návrh věcného záměru hotov v říjnu 2003 – poté byl prostřednictvím webových stránek ÚNMZ a ČMI předložen odborné metrologické veřejnosti k připomínkám a diskusím. Tato fáze byla ukončena v listopadu 2003 s tím, že do konce 1. pololetí 2004 bylo vypracováno paragrafované znění zákona. Návrh zákona byl poté předložen do meziresortního připomínkového řízení. Předložené připomínky byly vypořádávány na zasedání na MPO v lednu 2005 – vzhledem k nadměrnému množství připomínek byl nakonec návrh zákona stažen z plánu legislativních prací vlády. Práce na něm byly obnoveny na podzim 2005 s cílem předložit zlepšený návrh řešící maximální množství připomínek do nového PČR po volbách v červnu 2006. MPO se ovšem od té doby odmítá zákonem zabývat dříve, než bude vyjasněna struktura podřízených organizací v oblasti standardizace. Závěrem lze konstatovat, že bude maximální snaha posílit účinné prvky ochrany spotřebitele, stáhnout se z oblastí, které nejsou předmětem veřejného zájmu, a využívat mezinárodní dohody, kterými je ČR vázána (Dohoda o založení ES, dohoda o technických překážkách obchodu – TBT - v rámci WTO), a mezinárodně přijaté technické předpisy a normy (dokumenty OIML). Zjednodušeně řečeno, zákon bude o zákonných jednotkách, státních etalonech, metrologické kontrole v neharmonizované regulované oblasti včetně hotově baleného zboží a o metrologickém dohledu včetně reklamací měření, která je nyní upravena velmi nedostatečně. Na druhé straně zákon by neměl být o kalibraci měřidel a zřejmě ani o registraci subjektů v současném smyslu.

Souhrnně se na metrologii vztahují tyto mezinárodní smlouvy, jimiž je Česká republika vázána (stav po 1. 5. 2004):

- Metrická konvence;
- Dohoda o založení Mezinárodní organizace legální metrologie (OIML);
- Dohoda o přistoupení ČR k EU;
- Dohoda o založení ES (DZES);

Na metrologii se vztahují tato mezinárodní ujednání, jimiž není Česká republika právně vázána:

- Ujednání o vzájemném uznávání (CIPM MRA) státních etalonů a kalibračních certifikátů vydávaných národními metrologickými ústavy, CIPM na základě pověření vyplývajícího z Metrické konvence, listopad 1999.



Shrnutí kapitoly

Nedostatky zákona o metrologii.



Kontrolní otázky

O 1.5.14 Kolikrát byl novelizován původní zákon o metrologii?

O 1.5.15 Byl uveden v platnost nový zákon o metrologii, který by nahradil všechny stávající?

1.6 CHYBY A NEJISTOTY MĚŘENÍ

Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

Budete umět:

- Základní pojmy problematiky chyb a nejistot měření.
- Získáte základní informace o chybách a nejistotách měření.
- Zjistíte, jakým způsobem se dají vypočítat.
- Zjistíte základní informace o zajištění objektivnosti měření u prostorových technických dílů.

Budete umět

Budete schopni:

- Rozeznat rozdíl mezi jednotlivými druhy chyb.
- Vypočítat chyby měření.
- Vypočítat nejistoty měření.

Budete schopni

Cílem této kapitoly je poskytnout základní informace týkající se chyb a 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. Dále se v kapitole objasňuje problematika zajištění objektivnosti měření u prostorových technických dílů.

1.6.1 Základní pojmy v souvislosti s chybami a nejistotami měření



Čas ke studiu: 1 hodinu



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat základní pojmy týkající se chyb a nejistot měření.



Výklad

Chyba měření – naměřená hodnota veličiny minus referenční hodnota veličiny.

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

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

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

Opakovatelnost měření – preciznost měření ze souboru podmínek opakovatelnost měření.

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

Reprodukovatelnost měření – preciznost měření za podmínek reprodukovatelnosti měření.

Nejistota měření – 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 – vyhodnocení složky nejistoty měření statistickou analýzou naměřených hodnot veličiny získaných za definovaných podmínek měření.

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

Standardní nejistota měření – nejistota měření vyjádřená jako směrodatná odchylka.

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

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



Shrnutí kapitoly

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



Kontrolní otázky

- O 1.6.1 Co je to chyba měření?
- O 1.6.2 Co je to nejistota měření?
- O 1.6.3 Co je to kombinovaná standardní nejistota měření?

1.6.2 Chyby měření



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat druhy chyb měření.
- 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.

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.

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.

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

Systematické chyby ovlivňují správnost, náhodné pak přesnost výsledku.

1.6.2.1 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_i .

$$\varepsilon_i = x_i - x_0.$$

Chybu ε_i nemůžeme nikdy stanovit, můžeme ji pouze odhadnout.

Chyba určená jako 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 %.

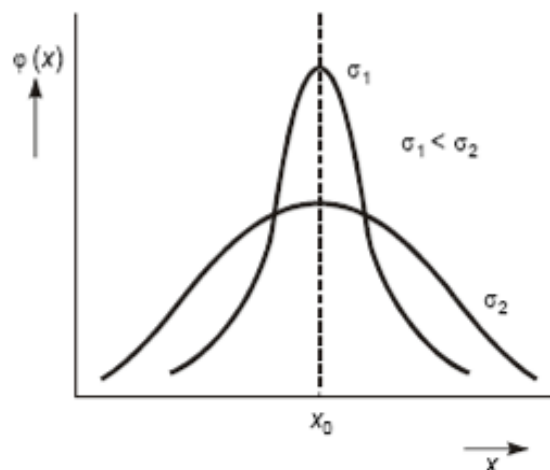
Náhodné chyby, které při opakování měření kolísají náhodně co do velikosti i znaménka, vznikají spolupůsobením velkého počtu náhodných vlivů, které nemůžeme předvídat. Náhodné chyby se chovají jako náhodné veličiny a řídí se matematickými zákony počtu pravděpodobnosti. Při velkém počtu opakovaných měření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

1.6.2.2 Normální rozdělení

Předpokládejme, 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 4). Toto normální (tzv. Gaussovo) rozdělení vychází z předpokladu, že:

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



Obr. 4 Gaussovo rozdělení

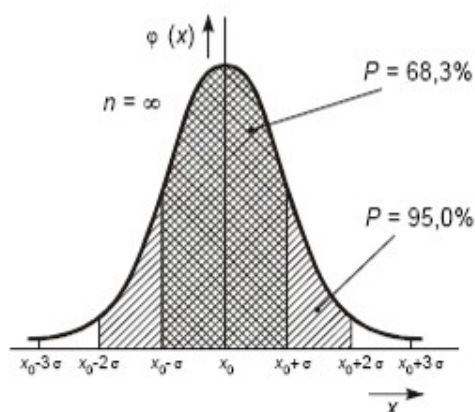
S pomocí funkce $\varphi(x)$ je možné určit pravděpodobnost tak, aby naměřená veličina byla v určitém intervalu (obrázek 5).

Pro určení chyby měření je potřeba nejprve určit aritmetický průměr z n naměřených hodnot.

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

kde: n – počet měření,

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



Obr. 5 Intervaly pravděpodobnosti

Dále je potřeba určit míru rozptylu v základním souboru. Rozptyl hodnot výběrového souboru charakterizuje výběrová směrodatná odchylka s jednoho měření.

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

S rostoucím počtem měření se přesnost měření zvyšuje. Proto pro opakovaná měření se zavádí výběrová směrodatná odchylka aritmetického (výběrového) průměru $\bar{s}$, která závisí na tom, jak se od sebe liší x_0 a $\bar{x}$.

Výběrová směrodatná odchylka aritmetického průměru se potom vypočítá ze vztahu:

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



Shrnutí kapitoly

Hrubá chyba, systematická chyba, náhodná chyba, normální rozdělení.



Kontrolní otázky

- O 1.6.4 Co způsobuje hrubou chybu?
- O 1.6.5 Jakým způsobem lze dosáhnout odstranění náhodné chyby?
- O 1.6.6 Čím může být způsobena systematická chyba?

1.6.3 Nejistoty měření



Čas ke studiu: 2 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat druhy nejistot měření.
- Určit zdroje nejistot.



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.

Vyjádření výsledku měření je úplné pouze tehdy, pokud obsahuje jak vlastní hodnotu měřené veličiny, tak i nejistotu měření patřící k této hodnotě.

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

1.6.3.1 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.

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:

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

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.

- Vytipování možných zdrojů nejistot typu B - $Z_1, Z_2, \dots, Z_m$.
- Určení standardní nejistoty typu B každého zdroje.
- Přepočítání určených nejistot u_{z_j} na odpovídající složky nejistoty měřené veličiny.
- Posouzení možnosti korelací mezi jednotlivými zdroji nejistot a v kladném případě odhad hodnoty hodnot korelačních koeficientů $r_{z_j,k}$ z intervalu $<-1; +1>$.
- Sloučení jednotlivých nejistot do výsledné standardní nejistoty typu B.

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.

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: 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.

Rozšířená nejistota měření je dána vztahem:

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

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

1.6.3.2 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.

Mezi nejčastější zdroje nejistot patří:

- nevhodný výběr přístroje (rozlišovací schopnost atd.),
- nevhodný postup při měření,
- neznámé nebo nekompenzované vlivy prostředí,
- subjektivní vlivy obsluhy,
- nepřesnost etalonů a referenčních materiálů.



Shrnutí kapitoly

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



Kontrolní otázky

- O 1.6.7 Kolik je základních druhů nejistot?
- O 1.6.8 Která z nejistot se stanovuje na základě statistického upracování opakovaných měření?
- O 1.6.9 Patří mezi zdroje nejistot nevhodný postup při měření?

2 PŘESNÉ MĚŘENÍ 3D PLOCH

2.1 SOUŘADNICOVÁ MĚŘICÍ TECHNIKA (CMM)



Čas ke studiu: 6 hodin



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Znat typy konstrukcí CMM, základní prvky a uložení částí CMM.
- Popsat snímací systémy CMM.
- Řídicí systémy, princip a metody souřadnicového měření.



Výklad

2.1.1 Úvod

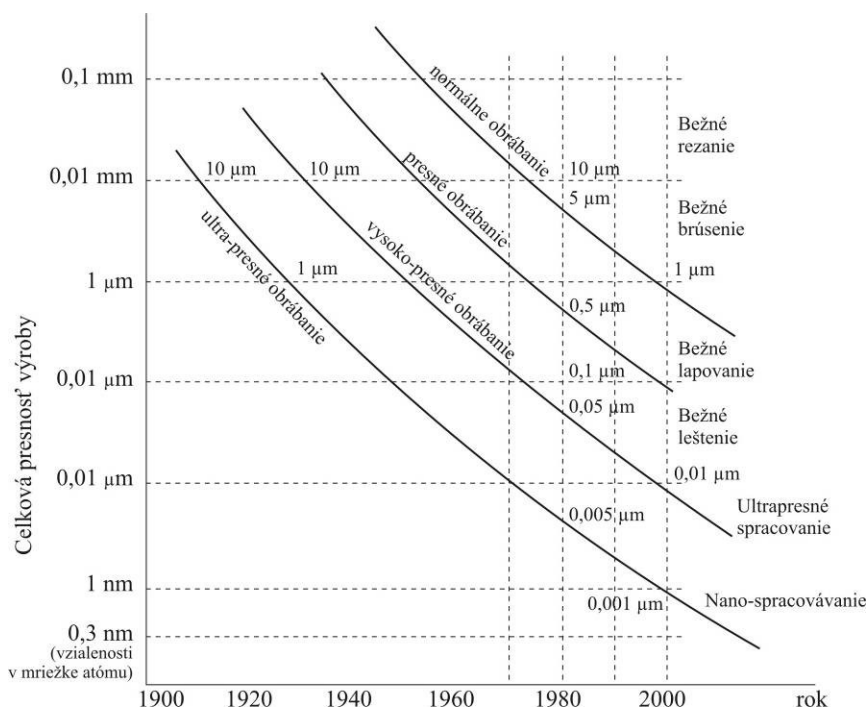
Souřadnicové měřicí stroje svým příchodem sehrály důležitou úlohu v oblasti průmyslových odvětvích včetně letectví, automobilového průmyslu, elektroniky, potravinářského průmyslu, zdravotnictví, výroby papíru, farmaceutického průmyslu, plastů, výzkumu, rozvoje polovodičů a staly se neoddělitelnou součástí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

Historie CMM

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

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

Postupem času se začalo tlačit na přesnost měření a v roce 1983 Taniguchi ve své práci odhadl trend výrobní přesnosti (obr. 6).



Obr. 6 Trendy výrobní přesnosti

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

CMM jsou vhodné při následujících podmínkách:

- **Krátká produkce (při malých sériích)** - můžeme produkovat sto nebo tisíc kusů, ale výrobní série není dostačující, abychom efektivně odůvodnili náklady na inspekční a kontrolní nástroje.
- **Multifunkční funkce** – když máme určitý počet funkcí (oboje dimenzionální a taktéž geometrické) na zkontrolování, CMM je nástrojem, který dokáže organizovat jednoduše a ekonomicky.
- **Flexibilita** – protože si můžeme vybrat aplikaci CMM systémů, taktéž můžeme vykonat krátkodobou produkci a změřit různé charakteristiky.
- **Vysoké jednotkové náklady** – protože opracování a vyhazování dílů je nákladné, CMM systémy nám pomáhají zvýšit produkci akceptovaných dílů.
- **Přerušování výroby** – kdykoliv musí být díl zkontrolován a musí být vyhotovený a akceptovaný jeden vzorek dílu předtím, než bude následovat další výrobní proces, obráběcí centrum může ve skutečnosti být schopno pomocí výrobců ušetřit víc peněz prostřednictvím redukování času, který by byl ušetřen na inspekci.

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

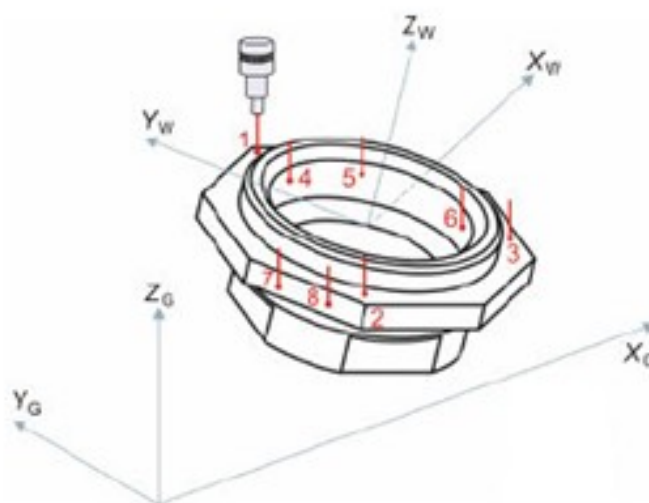
Třísouřadnicové měřicí zařízení (CMM)

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

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

CMM pracuje s dvěma souřadnicovými systémy:

- souřadnicový systém stroje,
- souřadnicový systém měřeného předmětu.

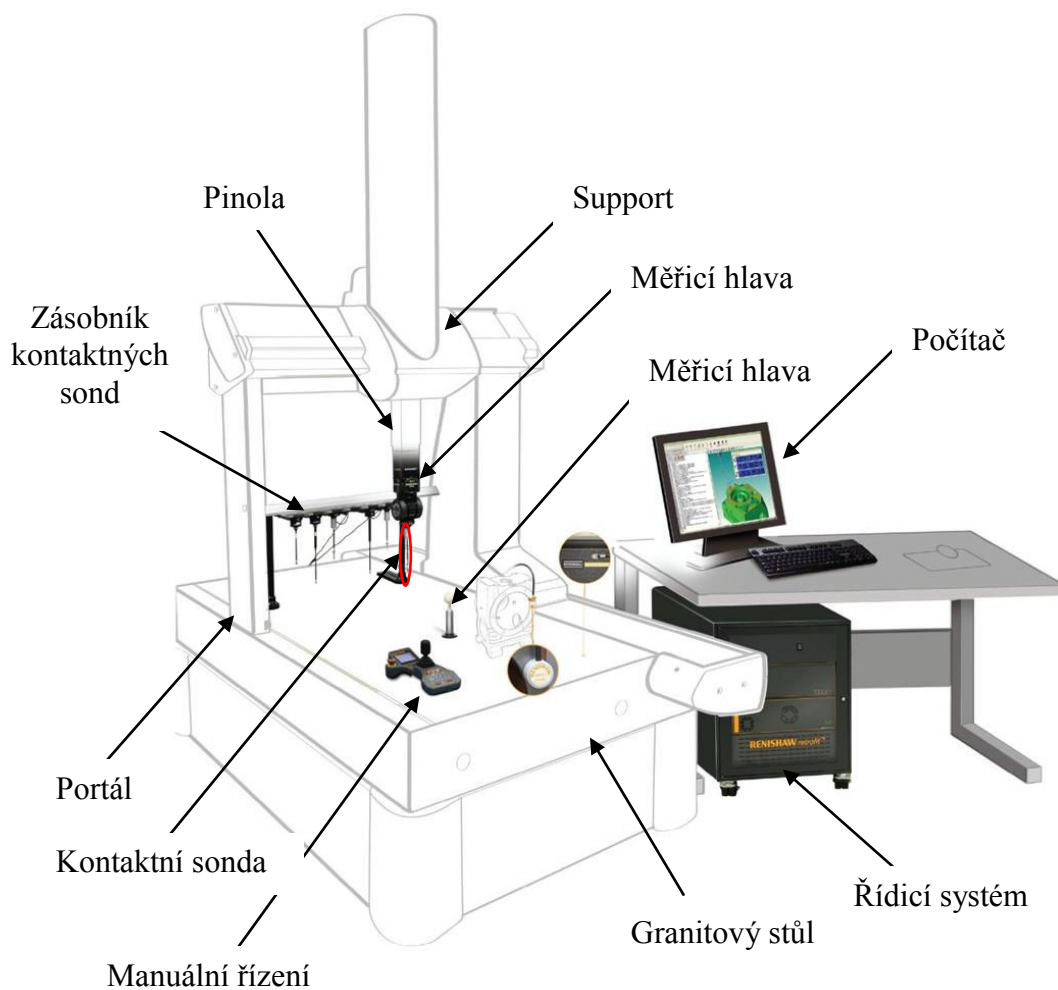


Obr. 7 Souřadnicový systém stroje a součástky

Pokud se měří délka na konkrétní součástce, souřadnicový systém součástky se vytváří změřením referenčních prvků po obvodě součástky (obr. 7). Musíme však rozlišovat mezi souřadnicovým systémem přístroje (X_G , Y_G , Z_G) a souřadnicovým systémem součástky (X_W , Y_W , Z_W). Na měřené součástce může být několik souřadnicových systémů.

Každý CMM se skládá z dílčích, navzájem propojených subsystémů (obr. 8), které jsou navzájem propojené:

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



Obr. 8 Popis základních částí souřadnicového měřicího stroje

Ve všeobecnosti se od nich očekává:

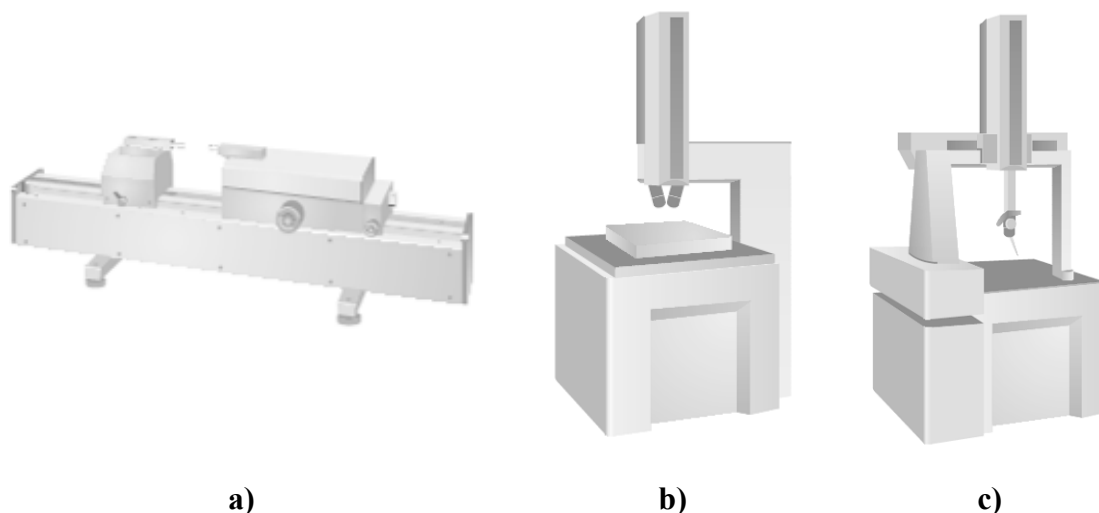
- absolutní a inkrementální měření (měření rozměru po jednotlivých krocích) měření rozměru ve směru os x, y a z,
- měření vzdálenosti mezi definovanými body,
- určení obrysové křivky z naměřených bodů,
- generování křivek chyb,
- určení geometrických odchylek tvaru a polohy,
- automatické porovnání požadované a skutečné hodnoty,
- kontrola sdružených součástí,
- výpočet průsečíků os,
- výpočet středů a průměrů děr různými metodami,
- zjištění sklonu osy díry,
- zjištění středu oblouku,
- automatické nastavování naměřených objektů,
- automatická korekce na dotyk,
- transformace souřadnic (kartézské – polární).

2.1.2 Typy konstrukcí CMM

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

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

- **Jednosouřadnicové měřicí stroje** (obr. 9a) - umožňují měřit rozměr jen v jedné ose x. Pomocí nich se dá dosáhnout velmi malá chyba měřidla 0,6 až 6 μm v celém rozsahu, a to i při měření velkých rozměrů.
- **Dvousouřadnicové měřicí stroje** (obr. 9b) – umožňují měřit rozměry ve dvou navzájem kolmých osách „x“ a „y“, v jedné rovině. Při měření v 2D využíváme mikroskopy, profilprojektory, laserové interferometry a skenery.
- Mikroskopy jsou počítačem podporované a obvykle mají optoelektronický odměřovací systém, okulár s nitkovým křížem nebo CCD kameru.
- **Třísouřadnicové měřicí stroje** (obr. 9c) – umožňují měřit rozměry ve třech navzájem kolmých osách „x“, „y“ a „z“, teda v prostoru. Představují vrchol techniky měření geometrických veličin. Na jedno upnutí umožňují složité rozměrové měření ve třech navzájem kolmých souřadnicích.



Obr. 9 Typy CMM podle konstrukce: a) jednosouřadnicový CMM, b) dvousouřadnicový CMM, c) třísouřadnicový CMM

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

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

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

Stojanový (sloupový) typ (obr.10a)

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

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

Výložníkový typ (obr.10b)

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

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

Portálový typ (obr.10c)

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

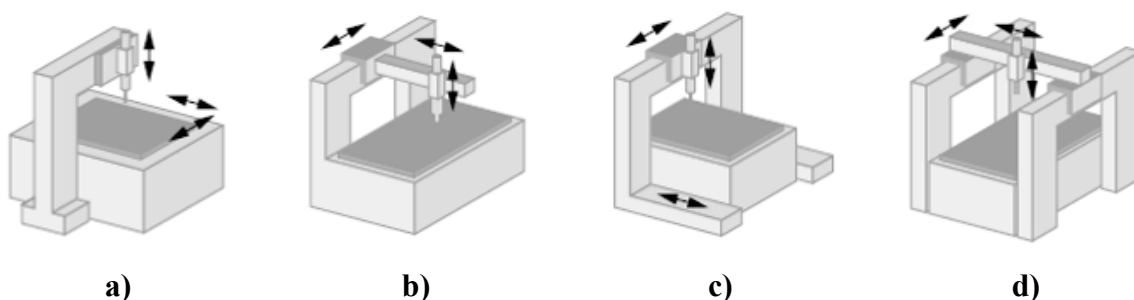
- velká tuhost (umožňuje vysokou přesnost měření).

Může být ve dvojitým provedení:

- pohyblivý portál (obr. 11a) – portál se pohybuje nad pevným stolem, přístup do měřicího prostoru je omezený konstrukcí stroje,
- pevný portál (obr. 11b) – je pevný, vyžaduje pohyblivý stůl, který se pohybuje v ose „x“.

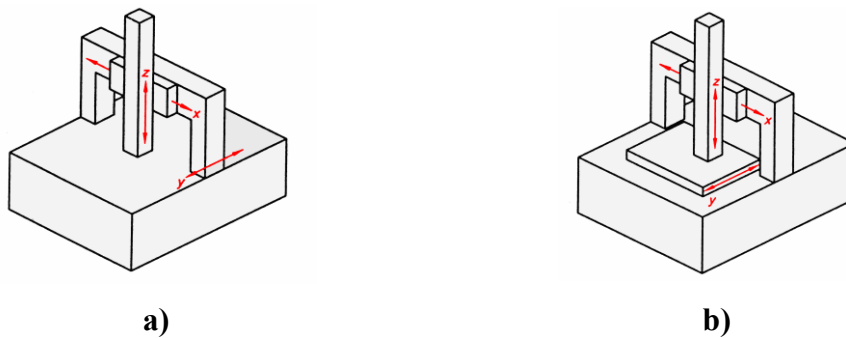
Mostový typ (obr. 10d)

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



Obr. 10 Typy souřadnicových měřicích strojů

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



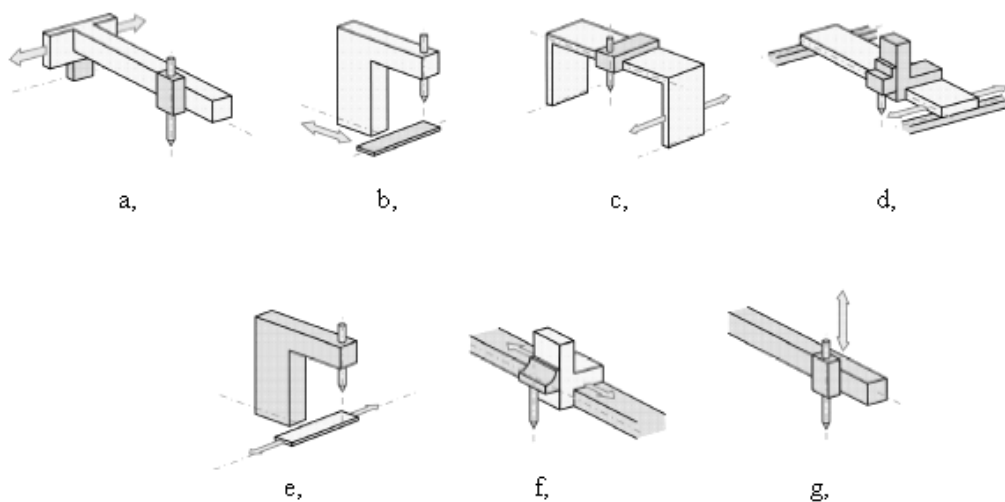
Obr. 11 Portálový CMM

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

Podle hmotnosti obrobků jsou vyráběny CMM:

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

Pro CMM jsou typické tyto části, které jsou typické i pro výrobní stroje (obr. 12).



Obr. 12 Části souřadnicových měřicích strojů

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

2.1.2.1 Multisenzorové CMM

U CMM tohoto typu se používají různé kombinace měřicích sond (např. optická sonda, skenovací sonda, mikrosonda, mechanický snímač apod.). Ze základních vlastností sond vyplývá, pro jaký účel se budou používat, přičemž důležitými rozlišovacími znaky jsou:

- velikost měřeného obrobku (součástky),
- druh měřených geometrických prvků,
- vhodnost rychlého zachování velkého množství bodů (skenováním).

Pro komplexní řešení měřicích úloh je potřebné používat v průběhu jednoho měření více typů měřicích sond. Většinou mohou být ve dvou provedeních:

- stacionární (např. videocheck, tomograf),
- mobilní (např. FARO).

2.1.2.1.1 Počítačová tomografie (metrotomografie)

V současnosti ji řadíme mezi nejnovější způsoby měření (obr. 13). CMM, které využívají tuto technologii, jsou ve většině konstruovány jako multisenzorové stroje. Obvykle bývá primární sonda (rentgen) doplněna o kombinaci dalších sond (kontaktní, optická nebo laserová sonda).



Obr. 13 Werth Tomoscope – 3D rentgenový měřicí přístroj

Princip tomografu:

Systém tomografu pracuje tak, že měřený obrobek (součást) je umístěn na otočném stole v takové poloze, aby ležel v paprscích vycházejících z RTG zářiče. Jeho profil je zachycen na detektoru, který ho přepočítá z RTG obrazu do digitálního 2D obrazu pro další zpracování. Trojrozměrný obraz vzniká otáčením obrobku o 360° okolo vlastní osy (na otočném stole zařízení. Tímto způsobem se získané údaje přepočítají na 3D objemový model součásti.

Typické aplikace měření na tomografu:

- získání kompletní geometrie měřeného obrobku (součásti) v jedné měřicí sekvenci,
- měření vnitřních geometrií obrobku ve špatně přístupných místech,
- 3D porovnávání nominálních a aktuálních údajů, např. 3D zobrazení odchylek sítě bodů vůči 3D CAD modelu,
- Reverse Engineering, apod.

2.1.3 Základní prvky mechanického systému

K mechanickým prvkům CMM patří:

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

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

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

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

K základním požadovaným vlastnostem materiálu patří:

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

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

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

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

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

2.1.4 Uložení pohyblivých částí

Požadavky na realizaci pohybu v jednotlivých osách jsou:

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

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

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

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

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

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

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

Výhody:

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

2.1.5 Komplexní měřicí systémy

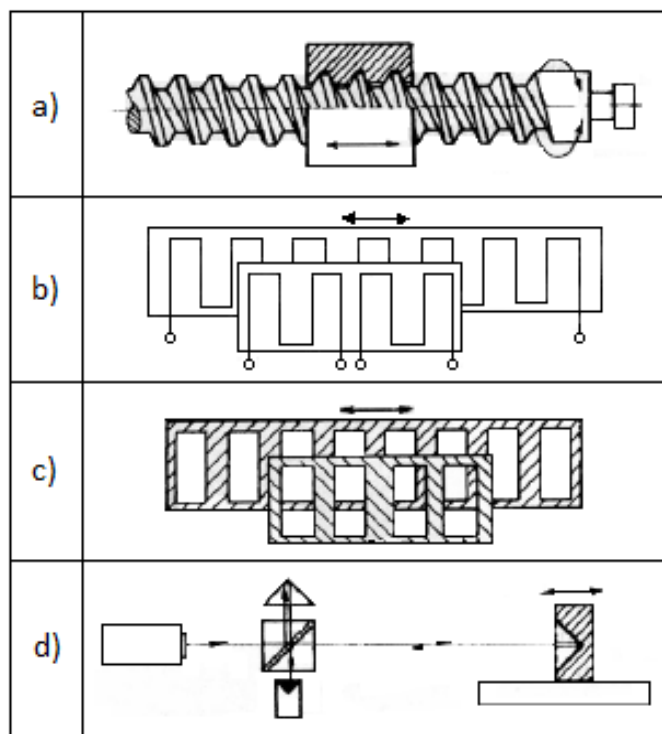
Souřadnicové měřicí stroje a optoelektronické měřicí systémy se v současnosti staly hlavními reprezentanty měřidel pro komplexní hodnocení geometrických charakteristik součástí.

Základ měření na CMM tvoří měřicí systém, který umožňuje získat souřadnice ze snímaných bodů v kartézských (polárních) souřadnicích, které mohou být zapsané v analogovém nebo číslicovém tvaru.

U CMM se nejčastěji používají:

Délkové měřicí systémy (obr. 14)

- závitový hřídel s úhlovým převodníkem,
- lineární inuktosyn,
- inkrementální délková stupnice,
- laserinterferometr.



Obr. 14 Měřicí systémy CMM

a) závitová hřídel; b) induktošyn; c) inkrementální délková stupnice;
d) laserinterferenční systém.

Závitový hřídel s úhlovým převodníkem

Vyrábí se do délky 1,2 m, mají malé stoupání, pro zajištění tepelné stability jsou uloženy v olejové lázni. Úhlový převodník má rozlišitelnost 1".

Nevýhoda: chyba reverzibility, způsobená vůlí mezi šroubem a maticí (při posuvu v opačných směrech).

Induktošyn

Je fázové odměřovací zařízení, které informuje řídicí systém spojený s ovládaným strojem o poloze, v níž řízená souřadnice je. Rozhoduje o výsledné přesnosti číslicového řízení. Induktošyn může být:

- lineární,
- rotační.

U CMM se využívá lineární induktošyn.

Lineární induktošyn

Jedná se o měřítko zhotovené formou vodivého plošného spoje na nevodivé fólii (může být ve tvaru desky nebo pásky), která se lepí na ocelovou podložku z vyrostlého materiálu, s koeficientem tepelné roztažnosti stejným jako má materiál stroje. Plošný spoj, má tvar pravoúhlého meandru, který je napájený střídavým proudem. Délka jedné vlny meandru je 2 mm. Proti měřítku je ve vzdálenosti cca 0,1 mm umístěn jezdec, na kterém jsou opět formou plošného spoje vytvořeny vedle sebe dvě smyčky (plošné vinutí) obdobného meandru se stoupáním 2 mm, jejichž vzájemná vzdálenost má diferenci $k/4 = 0,5$ mm. Na

smýčkách se indukují dvě napětí, fázově posunutá o 90° . Při pohybu jezdce po základním měřítku vznikne přibližně sinusový průběh napětí, jehož interpolací vychází odměřovací krok $1\text{ }\mu\text{m}$, přičemž je provedeno rozlišení smyslu pohybu.

Výhody: Induktosyn je značně odolný, který závisí na kvalitě vyhodnocovací elektroniky a může být až $0,0005\text{ mm}$.

Nevýhody: K odměřování vedou dva a nevyžaduje prakticky žádnou údržbu. U tohoto typu odměřování je velká rozlišitelnost kabely. Jeden k měřítku, druhý k jezdci. Další nevýhodou je, že s délkou měřítka se zvyšuje jeho ohmický odpor a tudíž i budicí výkon. Rovněž malá vzdálenost mezi měřítkem a jezdce zvyšuje nebezpečí vniknutí třísek do mezery a tím poškození měřítka. Ochrana tenkou nemagnetickou fólií zase zvyšuje vzdálenost mezi měřítkem a jezdce, nároky na přesnost montáže a tedy i cenu instalačních prací. Nedokonalé nalepení pásky na podložku rovněž ovlivňuje velikost vzduchové mezery a tím i velikost signálu a přesnost. Lepení na broušenou podložku výrazně zvyšuje cenu a prodražuje montáž, obdobně i krytování měřítka.

Inkrementální délková stupnice

Jedná se o nejpoužívanější odměřovací systém CMM pro odměřování délek. Rozlišitelnost je $1\text{ }\mu\text{m}$, základní stupnice je na skleněném (kovovém) podkladě a střídavě propouští světlo a to tak, že střídají pole propouštějící (odrážející) světlo s poli nepropouštějícími (neodrážejícími) světlo (obr. 14c). Jezdec má 4 pole, která propouštějí světlo. Dvě pole jsou posunuta o $\frac{1}{4}$ rozteče. Vzdálenost rysek je $0,01 \div 0,04\text{ mm}$.

Dá se docílit rozlišitelnost až $0,1\text{ }\mu\text{m}$ a to tak, že jezdec u některého systému je natočen vůči základní stupnici o nepatrný úhel (interferencí – vzniknou proužky „moiré“) a pohyb obrazce je převeden na elektrické signály.

Výhoda: snadná kalibrace, která se docílí náklonem jezdce.

Laserinterferometr

Laserinterferometry se používají zřídka u CMM, používají se pro kontrolu přesnosti CMM, jedná se o poměrně drahé a citlivé zařízení s rozlišitelností až $0,01\text{ }\mu\text{m}$.

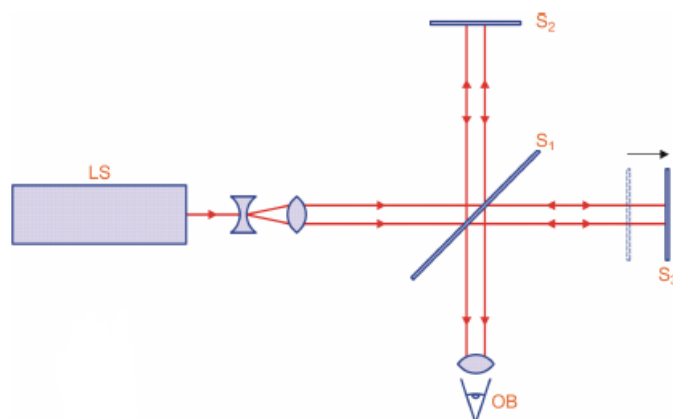
Základní princip této metody se převzal od optického interferometru, který byl pojmenovaný podle fyzika A. A. Michelsona (1852 – 1932), ten se proslavil díky svému přístroji z roku 1893 (obr. 15).

Princip: Zdroj světla vyzařuje světelný paprsek, který se na polopropustném zrcadle S1 rozkládá do dvou paprsků, které se namíří na dvě úplná odrazová zrcadla S2, a S3, od kterých se odráží na polopropustné zrcadlo S1 a zároveň se na něm opět spojí, což způsobí interferenci.

Jak se zrcadlo S2 pohybuje, změna jeho vzdálenosti způsobuje střídavé vzájemné zesilování a zeslabování světelné intenzity spojujících se v paprsek. Fotodetektor na místě pozorovatele vytváří periodický vlnový signál, při kterém se spočítá počet vln, kde délka světelné vlny odpovídá změně velikosti signálu a počet vln je úměrný skutečnému přemístění pohyblivého zrcadla.

Na zabezpečení stability světelného zdroje se musí využít laser. Pro zabezpečení délkového měření o přesnosti $0,00001\text{ mm/m}$ a více je třeba kompenzovat vliv prostředí, mezi které zařazujeme teplotu, vlhkost, tlak vzduchu a obsah oxidu uhličitého.

Ve většině případů skoro všechny interferometry, pracují na heterodynamickém principu (obr. 10). V tomto případě se délka posunutí měřicího zrcadla určuje z frekvenčního posuvu laserového světla v důsledku Dopplerova jevu. Poloha odrazového zrcadla se získá integrací míry posunutí za čas.



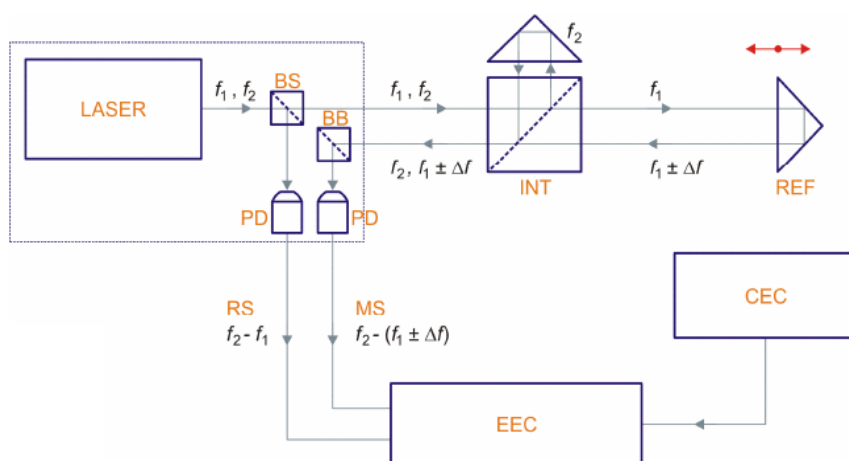
Obr. 15 Michelsonov interferometer

LS - zdroj světla, OB – pozorovatel, S1 – polopropustné zrcadlo,
S2, S3 – odrazová zrcadla

Heterodynní interferometry

Využívají laser, kde na základě fyzikálního Zemannova jevu vyzařuje dvě frekvence, které jsou vzdálené o 1,8 MHz a navzájem se kruhově opačně polarizují. Pohyb obrazového zrcadla způsobuje frekvenční posun (obr. 16), který umožňuje výpočet posunutí odrazového zrcadla.

Výhody: rozlišení směru pohybu zrcadla a malá citlivost na nastavení a ovlivňující jevy.



Obr. 16 Heterodynní laserový interferometer (dvojfrequenční interferometer)

BS – dělič paprsku, BB – lamač paprsku, INT – interferometer, REF – odrazové zrcadlo, PD – fotodetektor, RS – referenční signál, MS – měřicí signál, CEC – kompenzace: podmínky okolí, EEC – vyhodnocovací elektronika a počítač

Optoelektronické měřicí systémy

Pro měření rozměrů a geometrických charakteristik objektů využíváme různé typy optoelektronických metod (obr. 17).

Posledních 30 roků se používají světelné a bariérové snímače, které jsou levné, robustní, rychlé a efektivní zařízení. Vývoj měřicích metod se ubírá k jednorozměrným a vícerozměrným systémům, ale růstem komplexnosti narůstá jejich cena, proto se trojrozměrné metody velmi často nepoužívají.

Mezi trojrozměrné metody zařazujeme:

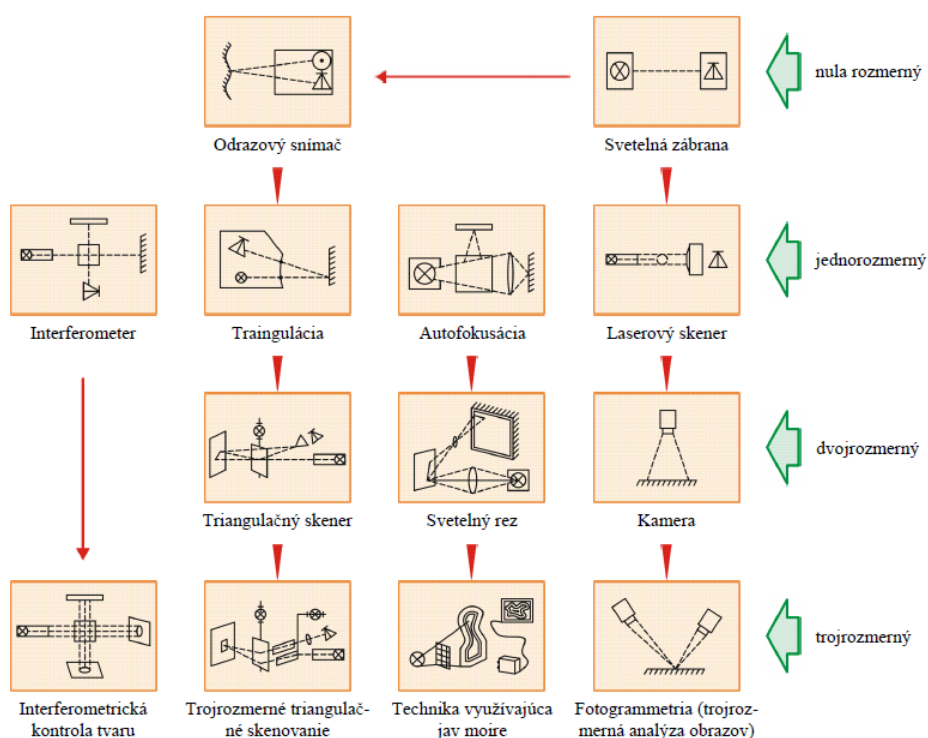
- interferometre,
- laserové skenování,
- různé optické systémy.

Z hlediska spolehlivosti, reprodukovatelnosti a efektivity optoelektronických měřicích zařízení je poznat jejich hranice použitelnosti a veličiny, které ovlivňují jejich metrologické vlastnosti.

Před měřením je třeba přezkoumat proměnlivost:

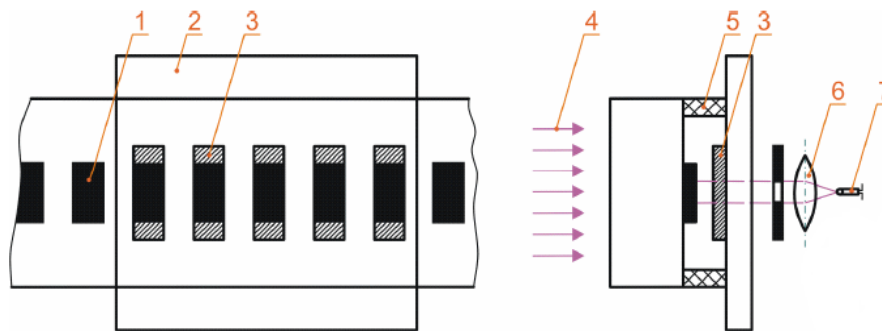
- čistoty,
- barvy,
- kvality povrchu měřených objektů.

Na kalibraci a referenční měření se používají dotykové metody.



Obr. 17 Přehled optoelektronických měřicích systémů

Pro automatické měření délky a polohy se používají optoelektrická délková měřítka s číslicovým odčítáváním. Princip optoelektrického měřítka je znázorněný (obr. 18).



Obr. 18 Princip optoelektrického měřítka

1 – mřížka, 2 – pravouhlá skleněná šablona, 3 – snímací šablona, 4 – rovnoběžné osvětlení, 5 – distanční mezikus, 6 – spojná čočka, 7 – fototranzistor

2.1.6 Odměřovací systémy na CMM

Odměřovací systém tvoří důležitou část u CMM, protože do určité míry ovlivňuje výslednou přesnost měření. Výsledek měření ovlivňuje rozlišovací schopnost a periodickou chybu měřítka v závislosti na měřené délce. U dělení měřítka se chyba projevuje jako chyba s dlouhou periodou (u skládaných měřítek).

Odměřovací systém umožňuje:

- přesné polohování mechanických částí stroje,
- zpětnou vazbu měřicímu softwaru.

Induktosynového odměřování – vedle periodické chyby se přesnost měření ovlivňuje rychlost pohybu odměřovacího systému.

Laserinterferometrové odměřování – má chybu v celém rozsahu konstantní, ale v závislosti odstranění vlivu prostředí korekčním zařízením.

Odměřovací zařízení je možné dělit podle principu jejich práce na:

- analogové systémy,
- číslicové (digitální) systémy.

Druhé hledisko je založené na charakteru informací, které předávají na zařízení:

- s přírůstkovým (inkrementálním) odměřováním,
- s absolutním odměřováním,
- s cyklicky absolutním odměřováním.

Analogové systémy

Měřítka je tvořeno proměnným odporem, kapacitou atd., které dávají plynule proměnný signál. Kvůli číslicovému odečítání je potřebný analogový číslicový převodník, který změní analogový signál na číslicový.

Analogové odměřovací zařízení se od číslicového (digitálního) odměřovacího zařízení liší tím, že převádí měřenou délku a úhlové pootočení na fyzikální veličiny (jako jsou napětí, fázový posun apod.).

Řadíme sem selsyn a induktosyn.

Číslicové (digitální) systémy

Mezi číslicové systémy zařazujeme:

- kódovaná měřítka,
- nekódovaná měřítka.

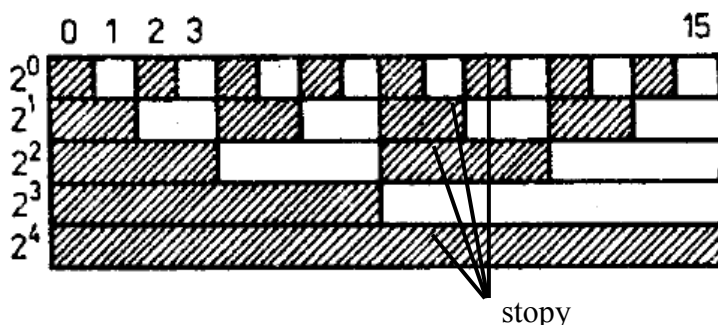
Kódovaná měřítka - tyto systémy s kódovaným měřítkem, můžeme nazvat jako absolutní systémy, protože odečítací zařízení dokáže odečíst absolutní (číslíkovou) hodnotu souřadnice, která je na měřítku zakódovaná.

Princip: Snímané souřadnice se odečítají z kódovaného měřítka už v číselné formě a převedou se do převodníku kódu (většinou se používá binární kód (dvojkový) – dvojkového na desítkový), který je místo čítače.

Absolutní kódovací systém s kódovanými měřítky:

- systém pracuje s hmotnou kódovanou stupnicí,
- snímání údajů je založeno na fotoelektrickém principu,
- v každém místě – přímo (absolutně) umožňuje určit polohu nezávisle na počítání ujeté dráhy – souřadnice jsou v daném místě měřítka zakódované,
- základní částí systému je skleněné pravítko a snímací hlava,
- měřítko je sledováno fotobuňkami umístěnými ve snímací hlavě, každá fotobuňka snímá jednu stopu a přiřazuje k ní příslušné porovnávací zařízení, které musí zpracovat nejen jednotlivé impulzy, ale i celé číslo,
- kombinací přehledných a nepřehledných polí na jednotlivých stopách je určena v každém intervalu v kódovaném tvaru příslušná souřadnice.

Na obr. 19 je znázorněné binární měřidlo, které tvoří řadu inkrementálních měřidel umístěných nad sebou (obvykle 12 až 20). Měřidla jsou dvojkově odstupňovaná.



Obr. 19 Uspořádání měřidla pro přímé číslicové absolutní odměřování

Pro velké odměřovací dráhy a jemné dělení je výroba lineárních měřidel nákladná, a proto se používání velmi nerozšířilo, na základě toho se střetáváme s tvarem kotoučů pro nepřímé odměřování.

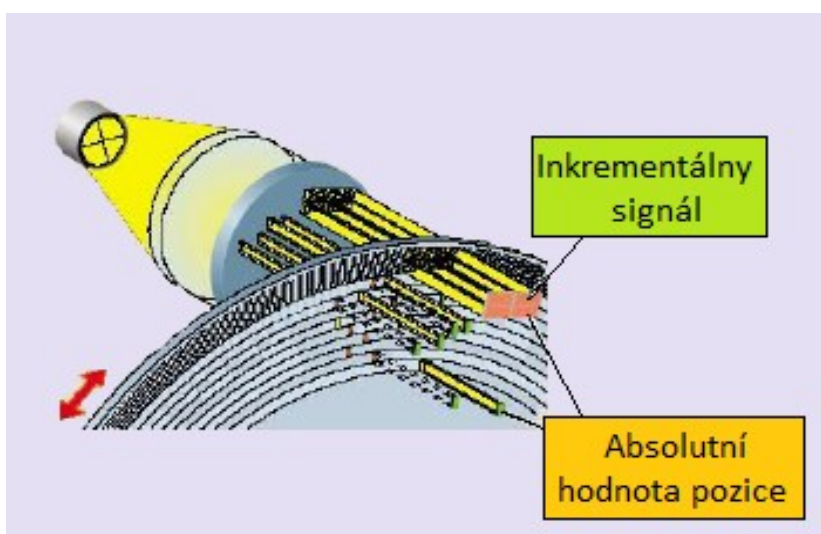
Výhoda absolutního odměřování polohy:

- eliminace ztráty polohové informace při poruchách přívodu energie,
- odpadá nutnost naběhnutí do referenčních bodů po každém zapnutí stroje,

- měřidlo má větší počet referenčních značek umístěných v narůstajících vzdálenostech, stačí pohyb mezi těmito značkami a absolutní poloha je známa (obr. 14).

Hodnota polohy se získává z enkóderu ihned po zapnutí a může být vyvolána kdykoliv vyhodnocovací elektronikou, není potřebné pohybovou osu hledat referenční polohou (synchropoloha). Absolutní hodnota polohy je načítaná z disku dělení, který obsahuje samostatnou stopu paralelního dělení (obr. 20).

Při metodě s **absolutním odměřováním**, se hodnota polohy získává z enkóderu ihned po zapnutí a může být vyvolána kdykoliv vyhodnocovací elektronikou. Absolutní hodnota polohy je odečítána z disku dělení, který obsahuje samotnou stopu paralelního dělení (obr. 14). Stopa s přesným dělením je interpolována na hodnotu polohy a současně se používá vygenerovaný přírůstkový signál. V jednootáčkovém enkóderu se informace o absolutní poloze opakuje s každou otáčkou a víceotáčkový enkóder rozlišuje mezi otáčkami.



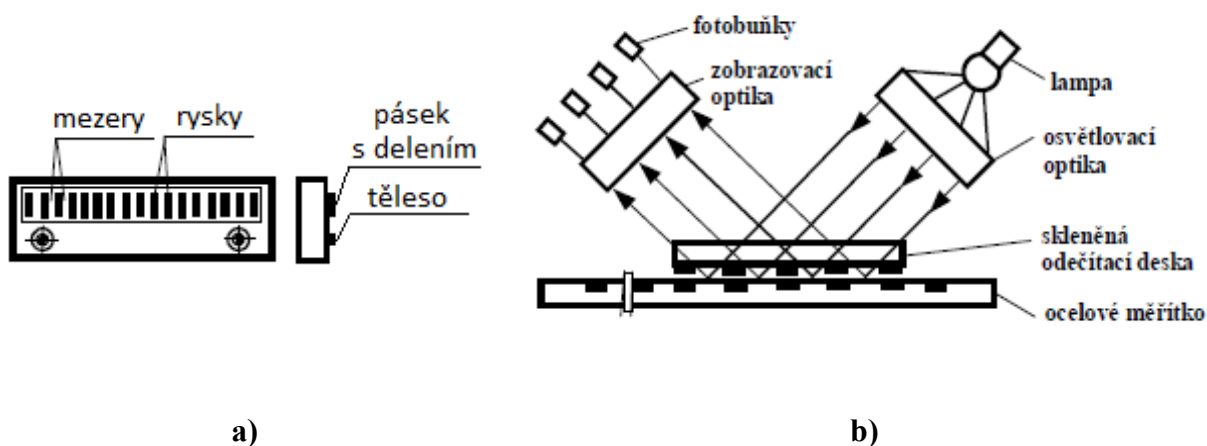
Obr. 20 Princip a stavba absolutního snímače (enkóderu) fy Heidenhain

Nekódované měřítka – tyto systémy s nekódovaným měřítkem nazýváme **relativní (přírůstkové) systémy**, protože počítadlo počítá impulsy od toho místa, ve kterém byl vynulovaný. Nazýváme ho vztázným bodem, od kterého měříme souřadnice. Vynulování můžeme uskutečnit v kterémkoliv bodě měřítka.

Princip: Z nekódovaného měřítka se v pravidelných vzdálenostech posílají impulsy do odečítacího zařízení, které je převede do počítadla. Počítadlo impulsy sečte, přičemž součet impulsů odpovídá ujeté dráze a je indikován na displeji.

Relativní (přírůstkový) odměřovací systém s nekódovaným měřítkem:

- je opatřený přesným měřítkem a ryskami, kde vzdálenost rysky + mezera tvoří elementární krok,
- dělení měřítka je vytvořené střídavě ryskami s mezerami o stejné šířce (obr. 21a),
- podkladem dělení je ocelový nerezový pásek, který je na vlastní těleso nalepen.



Obr. 21 Relativní odměřovací fotoelektrické systémy

a) hmotné nekódované měřítko, b) princip rovnoběžné mřížky LIDA firmy Heidenhein

Princip odečítání fotoelektrického systému (obr. 21 b):

- skleněná odečítací deska je rozdělená na 4 pole,
- každému poli je přiřazena jedna fotobuňka,
- odečítací pole je mřížka s neprůhlednou ryskou a průhlednou mezerou, jejich dělení se shoduje s dělením měřítka,
- tyto 4 pole jsou o $\frac{1}{4}$ dělicí periody přesazené proti sobě,
- intenzita osvětlení je maximální, když se měřítko osvětlených fotobuněk posune tak, že průhledné mezery odečítací desky stojí nad odrážejícími mezerami měřítka,
- intenzita osvětlení je minimální, když se kryjí neprůhledné rysky odečítacího pole s odrážejícími mezerami měřítka,
- když se měřítko pohybuje v podélném směru, relativně k odečítací hlavě, mění se intenzita přicházejícího světla k fotobuňce od maxima k minimu,
- použitím většího počtu štěrbin v odečítací desce se zvýší světelný proud dopadající na fotobuňku a tím se zvýší přesnost měření, protože náhodné chyby se statisticky vyloučí.

Nekódovaná měřítka, podle stupnice mohou být:

- hmotné,
- nehmotné.

Hmotná stupnice (obr. 21a) - rozumíme měřítko, které je rovnoměrně od sebe vzdálené, fyzikálně odlišné od podkladu (je opatřené značkami).

Nehmotná stupnice – rozumíme měřítko, které je realizováno stojatými vlnami, u kterých uzly a kmity rozeznává zařízení.

Fyzikální principy, na kterých je postavené snímání údajů z měřítka, můžeme řadit:

- optické, fotoelektrické (obr. 21), elektrické (indukční, kapacitní, magnetické), pneumatické apod. odměřovací systémy.

Fotoelektrický nebo elektrický odměřovací systém

U fotoelektrického nebo elektrického odměřovacího systému se odečítací zařízení mění ze snímaného signálu na elektrický signál, který je zpracovaný v elektronických obvodech (počítadlech, převodnících, dekodérech). Indikace je skoro stále prováděna za pomoci číslicových doutnavek, ale zároveň je možnost použít i jiné elektricky ovládané číslicové ukazatele.

Pneumatický odměřovací systém

U pneumatického odměřovacího systému, signály z odečítacího zařízení, pneumatické i další zpracování je v pneumatických logických obvodech.

Všechny tyto systémy umožňují dálkový přenos odměřovaných hodnot a zobrazovat je na ovládací panel nebo displej přístroje.

Optický odměřovací systém

Optický odměřovací systém pracuje pouze s vlastností světelného svazku s přenosem televizní kamerou. Zde se neumožňuje dálkové odečítání v libovolném místě.

Optoelektronický odměřovací systém

Funkce optoelektronického odměřovacího systému:

- na pevných částech stroje jsou nalepena pravítka (pásky) s reflexní vrstvou,
- pravítka mají dělení např.: po 0,02 mm
- nad pravítkem se pohybuje snímací hlavička, spojená s pohyblivou částí stroje,
- hlavička má schopnost počítat dílky pravítka, přes které prošla, dokáže vyhledat dělení až na 0,1 mm,
- měřicí software dostává informaci z hlaviček o každém pohybu stroje, který je větší než 0,1mm,

Vlastnosti pravítek odměřovacího systému:

- teplotní délková roztažnost musí být co nejmenší,
- při změně teploty dochází (vlivem tepelné roztažnosti) ke změně rozteče dílků nacházejících se v konstantní vzdálenosti a tím dochází ke zkreslení vypočtené vzdálenosti.

Podmínku min. roztažnosti splňují pravítka ze skla, nebo ze speciální keramiky (označované jako zerodur). Taková pravítka se nemusí teplotně kompenzovat. Hlídat se musí jen teplota měřeného dílu.

Nevýhodou je neskladnost a omezená délka daná křehkostí skla.

Dále existují ohybná pravítka – základem je ocelový pásek (pásek je namotaný na cívce a je možné ho odstříhnout podle potřeby).

Postup: pásek se nalepí na nástroj, který se chová stejně jako podklad na kterém je nalepený (umožňuje teplotní kompenzaci – neuvažuje se o součiniteli roztažnosti oceli, ale jen o součiniteli roztažnosti materiálu osy stroje).

Nevýhody – páska může být příčinou nepřesnosti, při lepení je potřeba použít aplikátor, který zajišťuje konstantní napnutí pásky (může dojít k protažení, nebo zkrácení) – vznikají tak nelineární chyby a korigují se softwarově (metoda kompenzace 21 chyb).

2.1.7 Snímací systémy

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

Snímací systém je spojený s pinolou a skládá se ze:

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

2.1.7.1 Hlavice snímacího systému

Rozlišujeme dva typy hlavic:

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

Pevné hlavice (obr. 22) – nedají se v prostoru natáčet, ale dosahují vyšší přesnosti než indexovatelné hlavice.

Indexovatelné hlavice (obr. 23) – slouží na přesné polohování snímacích sond v pracovním prostoru stroje. Umožňuje natáčet sondu v jednotlivých osách a zajistit ji v požadované poloze.

Rozeznáváme dva typy indexovatelných hlavic:

- motorické hlavice,
- manuální hlavice.

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

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

Manuální hlavice (obr. 24) – jsou to ručně nastavitelné hlavice umožňující flexibilní měření i složitých tvarů na povrchu kontrolovaných součástek.

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

Snímací systémy rozdělujeme na:

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



Obr. 22 Pevná
snímací hlavice



Obr. 23 Indexovatelná
snímací hlavice



Obr. 24 Manuální
hlavice

2.1.7.2 Dotykové snímací systémy

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

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

Elektrokontaktní snímací systémy rozdělujeme:

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

Detailnějšímu zpracování této tematiky je věnována kapitola „Přehled měřicích systémů.“

2.1.7.3 Bezdotykové systémy

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

U CMM bylo vyvinuto snímání ve formě laserové hlavy, řádkovací hlavy a speciálních pneumatických snímačů (obr. 25).

Laserové systémy

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

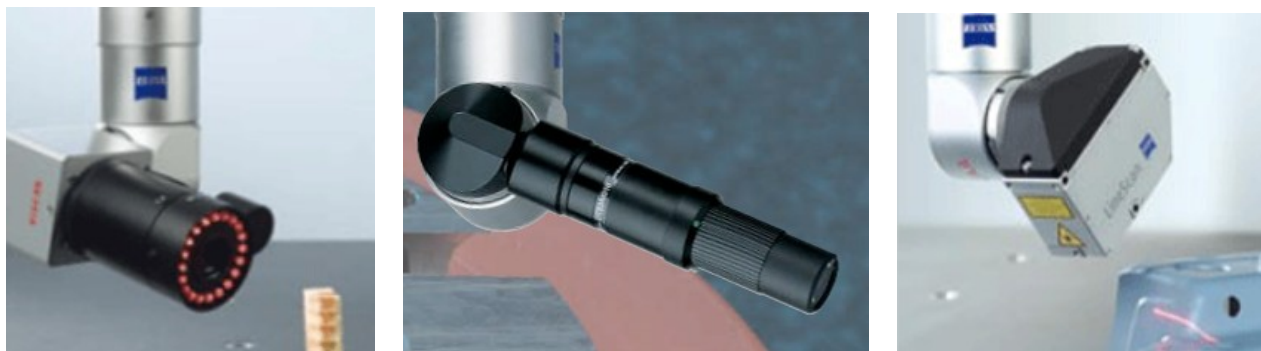
Kamerové systémy

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

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

Počítačová tomografie (CT - Computed Tomography)

Počítačová tomografie (obr. 26) je inspekční metoda, která se využívá v oblasti medicíny na diagnostiku vnitřních orgánů, ale rozšířila se i v oblasti strojírenství a dalších jiných oblastech. Tato metoda je založená na nedestruktivním způsobu získávání informací měřeného modulu.



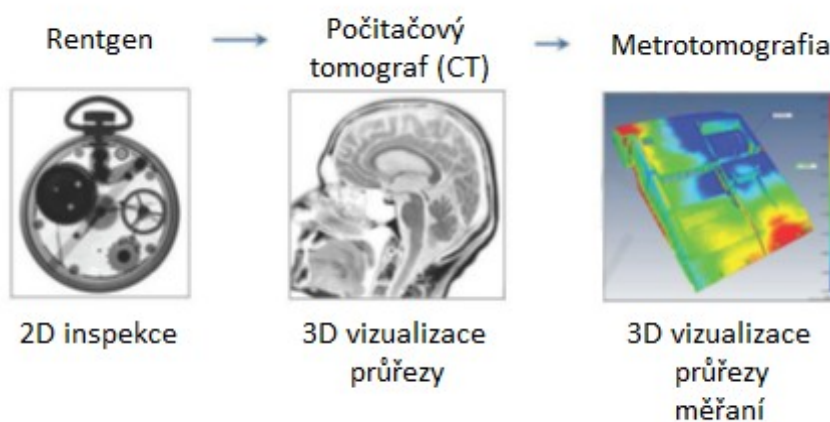
a

b

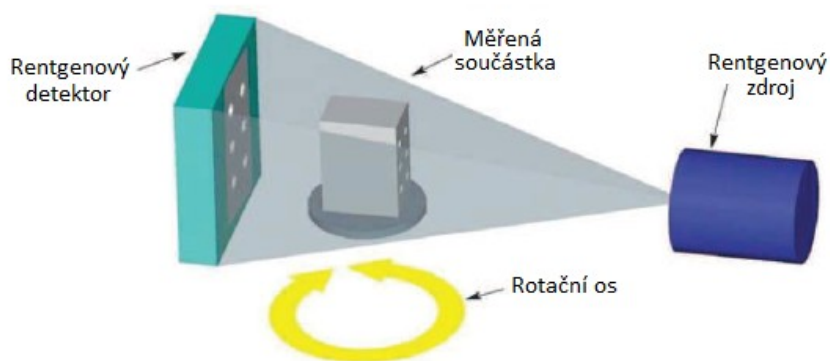
c

Obr. 25 Typy systémů měřicí hlavy např.: a) 2D optický kamerový (Zeiss RDS ViSCAN), b) optický bodový (Zeiss RDS DTS), c) laserový čárový (Zeiss RDS Line SCAN)

Princip počítačové tomografie (obr. 27) – mezi zdrojem rentgenového záření a detektorem, který přeměňuje záření na elektrický signál, rotuje měřená součástka okolo svislé osy. Během její rotace se v jednotlivých krocích snímání rentgenují rentgenové obrazy, tzv. rentgenogramy. Z těchto obrazů se za pomoci daného softwaru vytvoří virtuální trojrozměrný model reálné součásti. Výstupem ze snímání jsou mračna bodů (tzv. voxely – odvozené od pojmu prostorový bod – volume pixel). Je to hustá síť uspořádaných bodů v prostoru, kde každý bod nese informaci o tom, jakou propustnost záření (hustotu materiálu) měl objekt v daném místě. Podle této složky můžeme oddělit jednotlivé složky (např. vzduch, plasty, kovy apod.) a pracovat samostatně s jednotlivými prvky.



Obr. 26 Počítačová tomografie (CT)

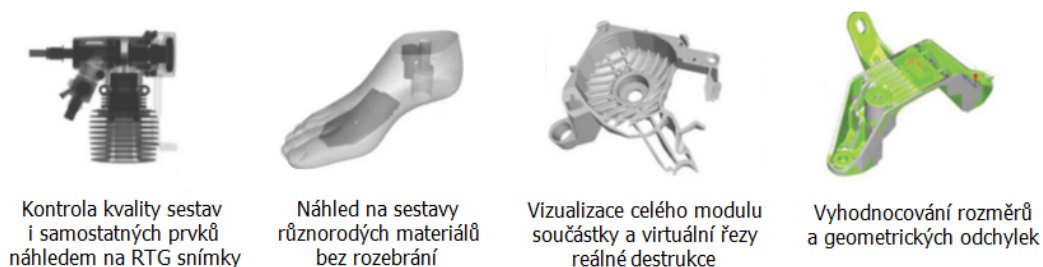


Obr. 27 Princip počítačové tomografie

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

Průmyslová tomografie ve všeobecnosti poskytuje tyto možnosti využití (obr. 28):

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



Obr. 28 Možnosti využití počítačové tomografie

Výhody:

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

Nevýhody:

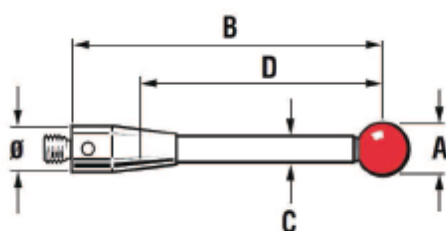
- omezené měření v závislosti od velikosti měřené součástky,
- vysoká pořizovací cena měřicího tomografu, proti jiným měřicím zařízením.

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

2.1.7.4 Měřicí dotyky

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

Typ a rozměr dotyku (obr. 29) závisí na snímaném prvku. Nejdůležitějšími vlastnostmi dotyku je tuhost dotyku a dokonalý tvar měřicí kuličky.



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

Obr. 29 Rozměry doteku

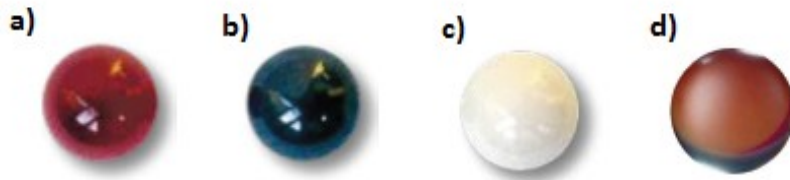
Zásady a pravidla pro výběr dotyku a měření (pro dosáhnutí co nejvyšší přesnosti):

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

Materiálem kuličky (obr. 30) může být:

- **rubín** - nejpoužívanější u převážné většiny měřicích aplikací. Existují však dva případy, kdy se doporučují kuličky vyrobené z jiných materiálů:
 - prvním je použití výkonných skenovacích aplikací na hliníkové materiály. Tady může docházet k fenoménu nazývanému adhezní otěr, kdy se na povrchu kuličky usazuje hliník. V tomto případě je lépe použít nitrid křemíku,
 - druhým případem jsou náročné aplikace při skenování litinových povrchů. Vzájemné působení obou materiálů může u rubínové kuličky způsobit opotřebení povrchu otěrem. V těchto případech se doporučují kuličky z oxidu zirkoničitého,
- **nitrid křemíku** - má hodně společných vlastností s rubínem. Jde o velmi tvrdý materiál, odolný proti opotřebení. Nitrid křemíku vykazuje značnou míru opotřebení otěrem při kontaktu s ocelovými povrchy,
- **oxid zirkoničitý** - je velmi pevný keramický materiál s podobnou tvrdostí a opotřebením jako rubín. Díky vlastnostem povrchu je ideálním materiálem pro agresivní aplikace u litinových součástek,

- **diamant** - překonává konvenční materiály po všech stránkách a poskytuje nejpresnější a nejekonomičtější měření. Extrémní tvrdost a hladký povrch diamantové kuličky udržuje opotřebení tření na minimální hranici. Diamantové kuličky jsou vhodné téměř pro všechny měřicí aplikace, včetně velkého zatížení při skenování hliníkových dílů.

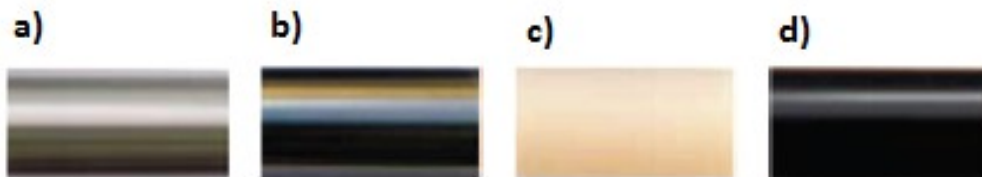


Obr. 30 Materiály kuliček
a) rubín, b) nitrid křemíku, c) oxid zirkoničitý, d) diamant

Materiál stopky (dříku) měřicího dotyku

Materiálem stopky (obr. 31) může být:

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

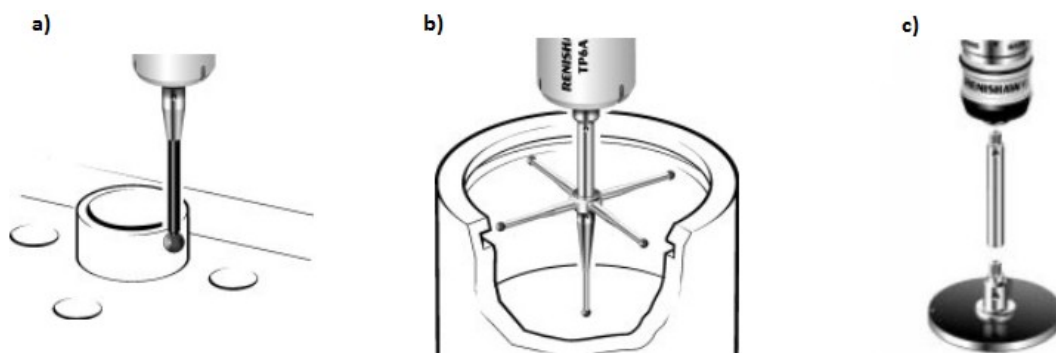


Obr. 31 Materiály pro stopky dotyků
a) ocel, b) karbid wolframu, c) keramika, d) uhlíková vlákna

Typy dotyků

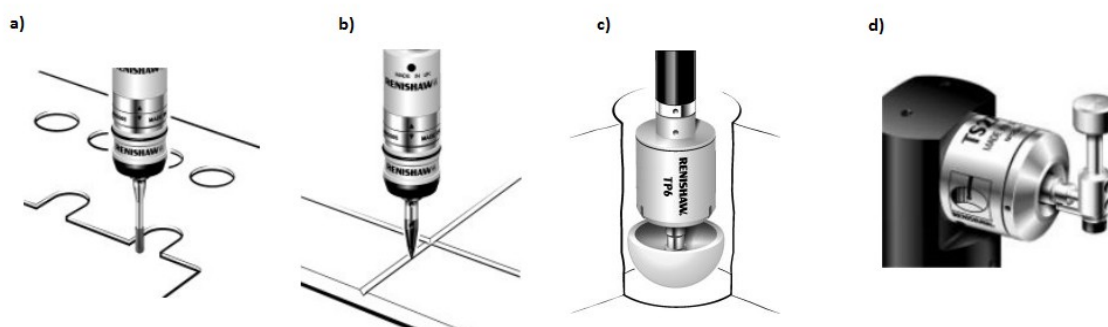
Rozdělení typů dotyků (obr. 32):

- **přímé** – jde o nejjednodušší tvar, který se skládá z přesné kuličky a stopky,
- **hvězdicové** – díky konfiguraci dotyků umožňuje snímání složitých prvků, nebo otvorů, přičemž kuličky se čtyřmi, nebo pěti kuličkami jsou pevně připevněny ke střednímu dílu,
- **diskové** – používají se ke snímání zápchů a drážek, kde se nedá použít hvězdicový dotyk. Způsob měření je podobný k měření s dotykem o velkém průměru, ale je využita malá část povrchu pro kontakt.
- **dotyky pro speciální účely** (obr. 33) – řadíme sem:
 - válcový dotyk,
 - špička,
 - dutá keramická polokoule,
 - dotyk na ustavení nástrojů.



Obr. 32 Základní typy dotyků

a) přímý dotyk, b) hvězdicový dotyk, c) diskový dotyk



Obr. 33 Dotyky pro speciální účely

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

Prodloužení dotyku

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

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

2.1.8 Řídicí systém

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

Ovládání řídicích pohybů CMM může být:

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

Podle způsobu vedení dotyku se způsoby řízení rozdělují na:

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

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

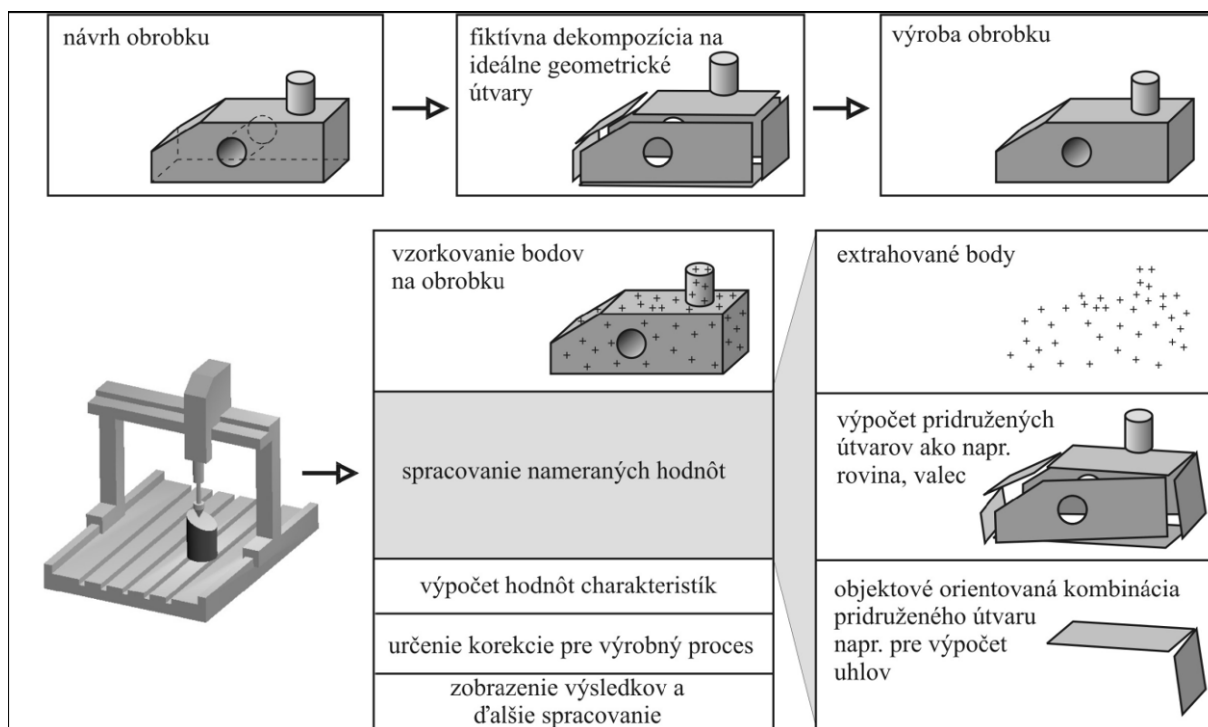
2.1.9 Princip souřadnicového měření

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

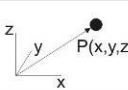
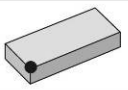
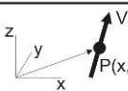
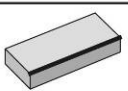
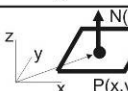
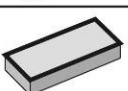
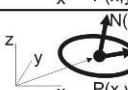
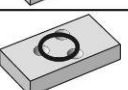
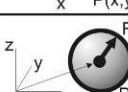
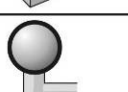
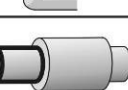
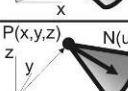
Postup měření na souřadnicových CMM lze obecně rozdělit do následujících kroků:

1. Prostudovat si výkresovou dokumentaci.
2. Určit příslušný souřadný systém, ve kterém se realizuje plán měření (kartézský nebo polární),
3. Rozložit si měřenou součástku na základní geometrické elementy – každému elementu odpovídá minimální počet nasnímaných bodů (obr. 35).
4. Navrhnout vhodnou metodu základního vyrovnání součástky (např. metoda 3-2-1, RPS, MPA apod.) - odeberou šest stupňů volnosti měřené součástce.
5. Změřit vybrané geometrické elementy pro základní vyrovnání a následně na nich aplikovat jednu z výše uvedených metod vyrovnání. Po aplikaci vhodné metody se přenesou souřadný systém stroje automaticky na měřenou součástku.
6. Změřit ostatní geometrické elementy (na základě vztahů mezi elementy se vyhodnocují např. rozměry, geometrické odchylky tvaru a polohy ...),
7. Interpretace výsledků v měřicím protokolu.

Parametry, které popisují skutečný povrch obrobku v ideálním tvaru, se vypočítávají pomocí software z naměřených hodnot souřadnic. Tyto parametry se mohou použít pro kontrolu obrobku, nebo zda daný geometrický tvar vyrobeného obrobku vyhovuje daným konstrukčním požadavkům (obr. 34).



Obr. 34 Princíp súradnicového měření

Útvary	Príklady a popisujúce parametre	Minimálny počet bodov pre definovanie	Príklady v praxi
Bod	 pozičný vektor	1	 roh hranola (priesečník troch pravouhlých rovín)
Priamka	 bod smer	2	 hrana hranola (priesečník dvoch pravouhlých rovín)
Rovina	 bod kolmica	3	 rovina hranola
Kružnica	 bod kolmica polomer	3	 vzťažná kružnica dier
Guľa	 bod polomer	4	 upínanie príviesného vozíka
Válec	 bod smer polomer	5	 hriadeľ
Kužeľ	 bod smer uhol kužeľa	6	 upínací kužeľ vŕtačky
Anuloid	 bod, smer polomer prstenca polomer vodiča	7	 zaoblenie na válci

Obr. 35 Základní geometrické útvary

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

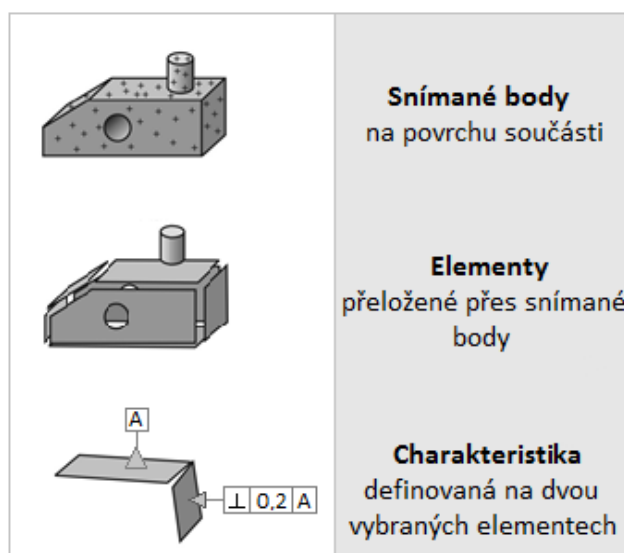
Postup tvorby měřicího programu

Každá měřená součástka je složení z elementů – teoretických geometrických útvarů (prvků – bod, přímka, rovina, kružnice, válec, koule a anuloid), viz. obr. 35. Na základě těchto elementů můžeme vyhodnotit několik parametrů, tzv. charakteristik.

Charakteristiky popisují jeden element (průměr, délka souřadnice polohy, odchylka přímosti, kruhovitosti, apod.) nebo definují vztah mezi elementy (vzdálenost, odchylka kolmosti, úhel, apod.). Příklad definování elementů pro odchylku kolmosti je na obr. 36.

Pro některé elementy se může vztahovat vícero charakteristik, např. pro kružnici se vztahuje: průměr, souřadnice středu, odchylka kruhovitosti, souměrnosti, souososti apod., nebo pro více elementů (např. 2 roviny) se definuje jedna společná charakteristika (např. úhel mezi nimi nebo odchylka kolmosti, atd.).

Elementy – při souřadnicové měřicí technice jsou definovány jako teoretické prvky (geometrické tvary) proložené přes snímané body, např. k definování roviny jsou potřebné 3 snímané body (tedy 9 kartézských souřadnic), přes které umíme proložit rovinu. Popřípadě pokud máme nasnímaných více bodů reálného rovinného povrchu, tak některé softwary proloží rovinu bodů jako regresní prvek (nejčastěji metodou nejmenších čtverců FEM).



Obr. 36 Definice elementů a charakteristik

2.1.10 Metody měření na CMM

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

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

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

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

- osazení obrobku stabilním způsobem - na co největší plochu,
- měřicí základny by měly korespondovat se základnami konstrukčními,
- v co největší míře provádět slučování měřicích operací,

- osazení obrobku tak, aby se dal proměřit v jedné poloze,
- volba minimálního počtu dotyků,
- volba měřicích bodů tak, aby byl postup co nejkratší,
- snímací body mají být rovnoměrně rozloženy na měřeném geometrickém prvku, nejlépe síťovým způsobem,
- počet snímaných bodů volit o 2 až 3 více, než vyžaduje geometrická definice,
- směr pohybu snímače před dotykem by měl souhlasit se směrem některé z os,
- kruhové nebo kulové tvary je potřeba snímat párovými dvojicemi – diametrálně,
- při statistické interpretaci výsledku měření vyhodnotit minimálně 30 bodů,
- body měřeného geometrického prvku je vhodné znázornit graficky, aby bylo možné vyloučit hrubé chyby,
- vyhodnotit dosaženou nejistotu měření a porovnat ji s požadovanou hodnotou nejistoty.

2.1.11 Programy pro obsluhu a hodnocení měření na CMM

Metrologické programy sehrávají důležitou úlohu v procesu zpracování a vyhodnocování naměřených údajů součástek na CMM a 2D měřicích přístrojích.

Nejběžnější požadavky na měřicí software jsou:

- možnost exportu údajů do tabulek MS Excel,
- možnost importu údajů pro měření podle CAD modelu,
- následná možnost exportu naměřených údajů pro potřeby reverzního inženýrství (RE) a použitelnost pro různé operační systémy např. Windows, Linux,
- a mnoho dalších.

Moderní metrologické softwary umožňují:

- jednoduché vytváření měřicích programů přes objektově orientované programování, vybírají se stejné elementy, jako v konstrukčních výkresech,
- flexibilita softwaru a senzoriky: od snímání jednotlivých bodů přes skenování až po optické měření,
- přizpůsobení výstupů měření našim potřebám, protokoly je možné jednoduše vytvořit v individuálních formátech.

Moderní softwary obsahují:

- snímání jednotlivých bodů nebo skenování,
- měření manuální, nebo pomocí CNC režimu, kde se připravuje přímo na měřicím stroji, off-line programování,
- snímání dotykové nebo optické,
- měření známých geometrických tvarů nebo obecných ploch.

Dále dokážou přesně určit naměřené rozdíly známé součástky, stejně jako dokážou digitalizovat neznámý model. Toto vše umožňuje jeden software.

V praxi se používají nejrozumnější programy, každý program je v něčem specifický.

K nejznámějším programům pro CMM patří:

- METROSOFT CM (firma WENZEL),
- CALYPSO, Holos (firma Zeiss),
- INCA 3D (od firmy MORA),
- METROLOG GP (firma Thome Präzision),
- MCOSMOS (firma Mitutoyo),
- PC – DMIS (firma Dea),
- a další.



Kontrolní otázka

- O 2.1.1 Kdy je vhodné použít CMM?
- O 2.1.2 Z čeho se skládají CMM?
- O 2.1.3 Jaké jsou typy CMM?
- O 2.1.4 Jaká jsou geometrická uspořádání CMM?
- O 2.1.5 Co řadíme mezi mechanické prvky CMM?
- O 2.1.6 Jaké jsou typy číslicových systémů?
- O 2.1.7 Jaké existují typy snímacích hlavic?
- O 2.1.8 Z čeho se vyrábějí dotyky?
- O 2.1.9 Jaké jsou základní typy dotyků?

2.2 PŘEHLED MĚŘICÍCH SYSTÉMŮ



Čas ke studiu: 5 hodin



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Popsat dotykové snímací systémy.
- Popsat bezdotykové snímací systémy.
- Principy a metody měření pro měření 3D ploch.



Výklad

2.2.1 Dotykové snímací systémy

Dotykové snímací systémy jsou dnes v praxi nejvíce používané. Společnou vlastností všech dotykových snímacích systémů je, že na získání informací o tvaru a rozměrech dílců je potřebný fyzický kontakt dotyku s měřenou součástí.

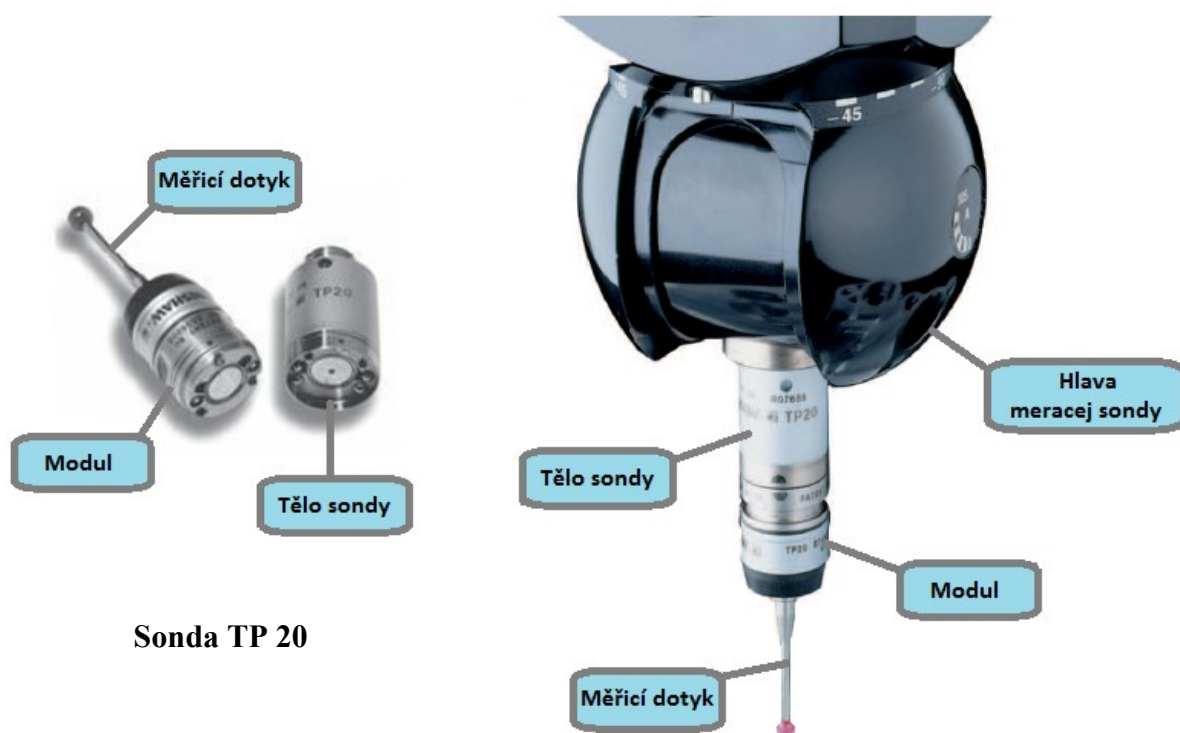
2.2.1.1 Systém spínacího typu

Funkce spínací sondy funguje tak, že v okamžiku, kdy se dotyk dotkne měřeného kusu, spínací sonda vydá signál, dojde k okamžitému zastavení pohybu a následně k odečtení aktuálních souřadnic z odměřovacího systému stroje. Existují dva způsoby, jako toho docílit:

- elektromechanicky,
- piezoelektricky.

Spínací sonda (obr. 37) - se skládá z následujících částí – tělo sondy, modulu a dotyku, kde tělo sondy je zašroubováno do hlavy. Modul je k tělu přichycen magneticky, což umožňuje automatickou výměnu modulu, nebo měřicího dotyku a zároveň chrání měřicí sondu před poškozením (např. při nárazu). Dosedací plochy modulu a těla sondy jsou opatřeny třemi klínovými drážkami a výstupky, které zajišťují přesné dosednutí modulu na tělo sondy.

Tyto systémy spínacích sond pracují v dynamickém režimu, pomocí nich se získávají **diskrétní hodnoty**, takže hovoříme o **kontaktním diskrétním snímání** (není možné spojitě snímání souřadnic – tzv. skenování).

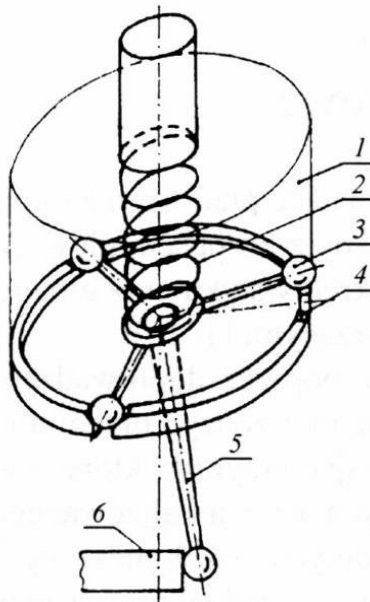


Obr. 37 Dotyková spínací sonda TP20 firmy RENISHAW a jej popis

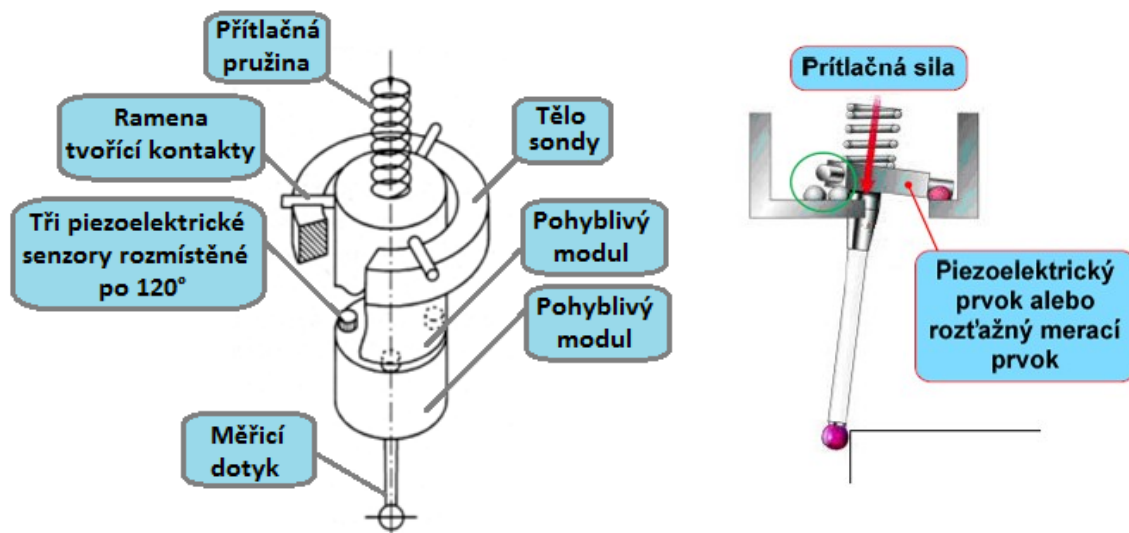
Elektromechanická sonda

Uvnitř modulu **elektromechanické** sondy je elektrický (obr. 38) obvod obsahující součást ve tvaru hvězdice, rozpínací kontakty vzájemně pootočené o 120°. Měřicí dotyk je na druhém konci opatřen prstencem, který v klidovém stavu propojuje všechny kontakty. V okamžiku vychýlení měřicího dotyku ze základní polohy dojde k rozpojení jednoho z kontaktů a tím k odečtení polohy stroje.

Kontakty jsou tvořené kulovými plochami, aby při odpojení kontaktu docházelo vždy ke stejné výchylce dotyku. I napříč tomu se dopouštíme drobné chyby, která je způsobena tím, že než se kontakt rozpojí, dojde k malému vychýlení měřicího dotyku sondy a zároveň dojde k posunu osy stroje oproti okamžiku, kdy se dotyk skutečně dotkl povrchu měřené součásti. Této chyby se můžeme vyvarovat, pokud použijeme piezoelektrickou sondu.



Obr. 38 Kinematické schéma kontaktní sondy s elektrokontaktním snímačem pracujícím ve třech směrech



Obr. 39 Schéma spínací dotkové piezoelektrické sondy a její princip

Některé firmy používají u spínacích sond piezoelektrické prvky, které při zatížení udají signál pro odečítání hodnot souřadnic.

Piezoelektrické sondy (resp. tenzometrické), viz. obr. 39

Mají dvojí indikaci měřeného bodu:

- první způsob indikace – **piezokrystaly** (při malém vychýlení se deformují piezokrystaly ve vnitř sondy a vydávají elektrické impulsy pro odečtení a dočasné uložení souřadnic),
- druhý způsob indikace – **elektromechanický** (při větším vychýlení dojde k rozpojení elektrického kontaktu – naměřený impulz se potvrdí a dočasně uloží souřadnice a dojde k zastavení pohybu stroje).

Piezoelektrické senzory jsou tak citlivé zařízení, že mohou vydat signál při náhodném zachvění stroje, proto je potřebné jejich signál potvrzovat.

Tyto typy sond mají schopnost nést až 5 různých dotyků současně, přičemž koncovka s dotyky se mění podle potřeby v automatickém režimu.

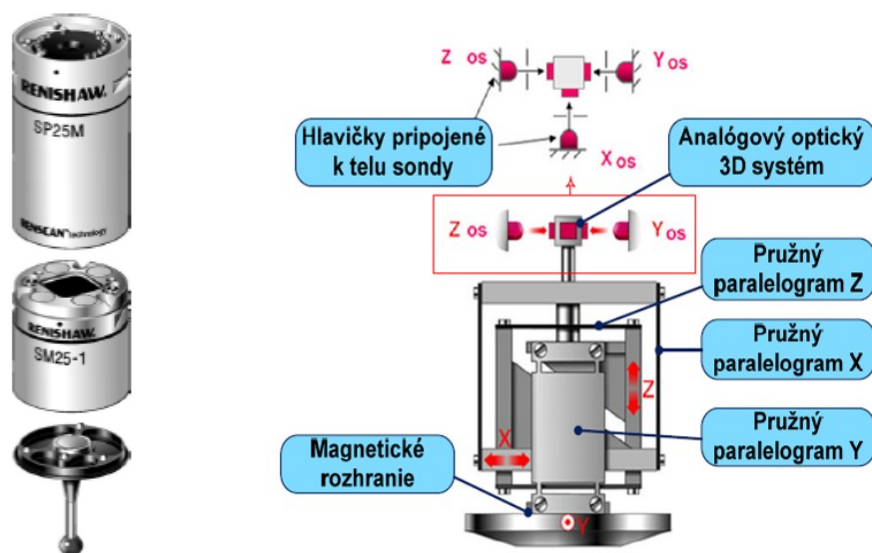
2.2.1.2 Systém snímacího typu (skenující sonda)

Systém snímacího typu (tzv. skenující sonda), viz. obr. 40 se skládá z těla sondy, které je v pouzdře snímací hlavy a je uložené v dvojitém nebo trojitěm paralelogramu.

Funkce skenující sondy je následující: Měřicí hrot pracuje v režimu, při kterém je v neustálém kontaktu s měřeným objektem. Během procesu měření řídicí systém v okamžiku, kdy zaznamená kontakt hrotu s měřeným objektem, vypne přítlak, který vyvoluje nastavenou měřicí sílu a zapne pohony pro příslušné osy. Tímto způsobem se zabezpečí trvalý kontakt hrotu s měřeným předmětem.

Skenující sonda může pracovat ve dvou režimech:

- ve statickém režimu – pokud je indukční měřicí systém v „0“ poloze je možnost snímání správných hodnot souřadnic, jedná se o tzv. diskrétní snímání,
- v dynamickém režimu – možnost spojitého snímání, tzv. skenování složitých tvarů.



Obr. 40 Kontaktní snímací (skenující) sonda

2.2.2 Bezdotykové systémy

U bezdotykových snímačů se využívají různé fyzikální principy snímání. Nejčastěji používané jsou optické, ale ve specifických aplikacích se využívají i principy indukční (princip vířivých proudů), kapacitní, ultrazvukové, magnetické atd. Jejich nasazení závisí od typu měřených předmětů a navrhuje se většinou jednoúčelově.

Typickým představitelem tohoto měření jsou optické systémy, které jsou u dvousouřadnicových měřicích strojů aplikované v automatických měřicích mikroskopech (pracují v rovině jako dvojosé měřicí systémy). U CMM a multisenzorových měřicích strojů (stacionárních a mobilních) používají optické senzory, které pracují na principu bezdotykového snímání „3D digitalizací“. Bezdotykové systémy pro 3D měření můžeme jinak nazvat jako skenery (digitalizéry). Bezdotykové skenery nevyžadují fyzický kontakt s povrchem předmětu.

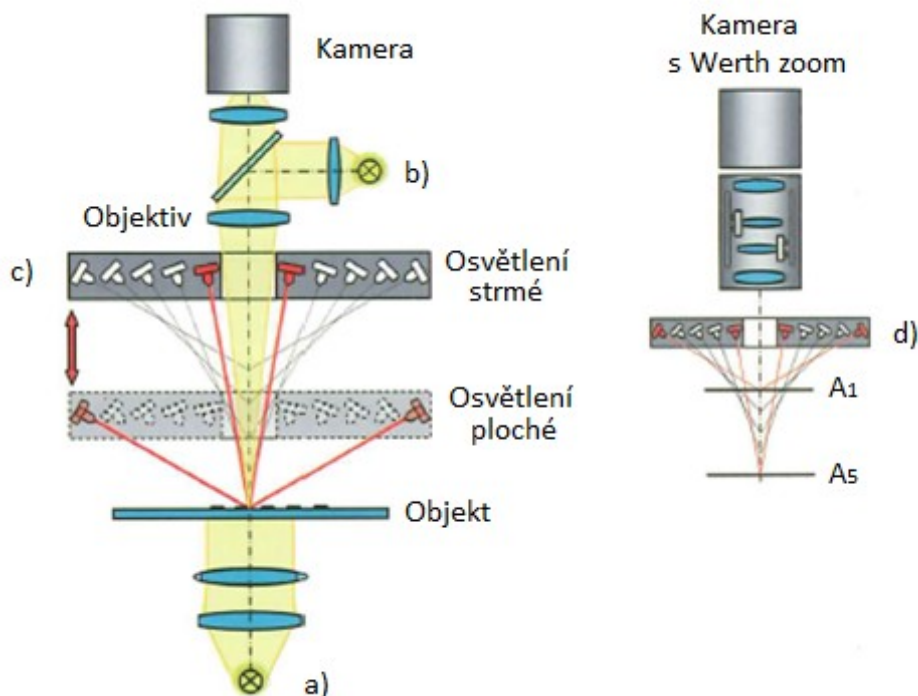
Výhody: kvalitnější výstupy, menší časová náročnost skenování a lepší schopnost vytvoření hustějších bodů v místech, kde se měřicí dotyk těžko dostane.

2.2.2.1 Princip pro měření 2D objektu

Na optický senzor se přenáší informace o poloze měřeného bodu pomocí světla – z toho lze stanovit příslušné souřadnice. Následující senzory, je možné provozovat jenom v rovinách.

2.2.2.1.1 Vizualní senzory

Vizuální senzory jsou takové, které mají za základ alespoň 2D zobrazení měřeného objektu. Senzor zachytí a vyhodnotí rozdělení intenzity tohoto optického obrazu, přičemž výsledky měření závisí na obsluze stroje. Vizuální snímání se používá při špatné viditelnosti měřeného povrchu a geometrické prvky je možné snímat jen intuitivně.



Obr. 41 Druhy osvětlení pro vizuální senzory:

a) procházející světlo, b) nastvení světlých polí, c) nastvení tmavých polí, d) nastvení tmavých polí s kombinací se zoomem

2.2.2.1.2 Hranolový senzor

Hranový senzor se využívá pro projektory.

Princip: Světelný signál je zachycen tenkým skleněným vláknem a je veden na fotomultiplikátor. Každá hrana při měření vytvoří přechod světlá-tmavá, popř. tmavá-světlá. Nízké kontrasty, jaké se většinou vyskytují v dopadajícím světle, mohou vést k chybám měření, jelikož bodový senzor nepřipouští téměř vůbec strategie k rozlišení mezi znečištěním, povrchovými vadami a skutečnými snímanými geometrickými prvky.

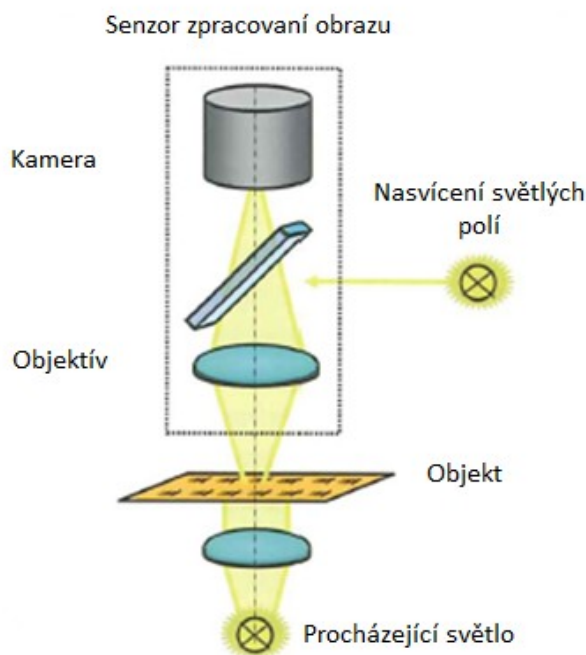
2.2.2.1.3 Senzor zpracování obrazu

Senzor zpracování obrazu (obr. 42) se zařazuje mezi vizuální senzory.

Princip: Měřený objekt se přes objektiv zobrazí na matricové kamere, následně elektronika kamery převede optické signály na digitální obraz, který se použije pro výpočet měřených bodů ve vyhodnocovací počítači s odpovídajícím softwarem pro zpracování obrazu.

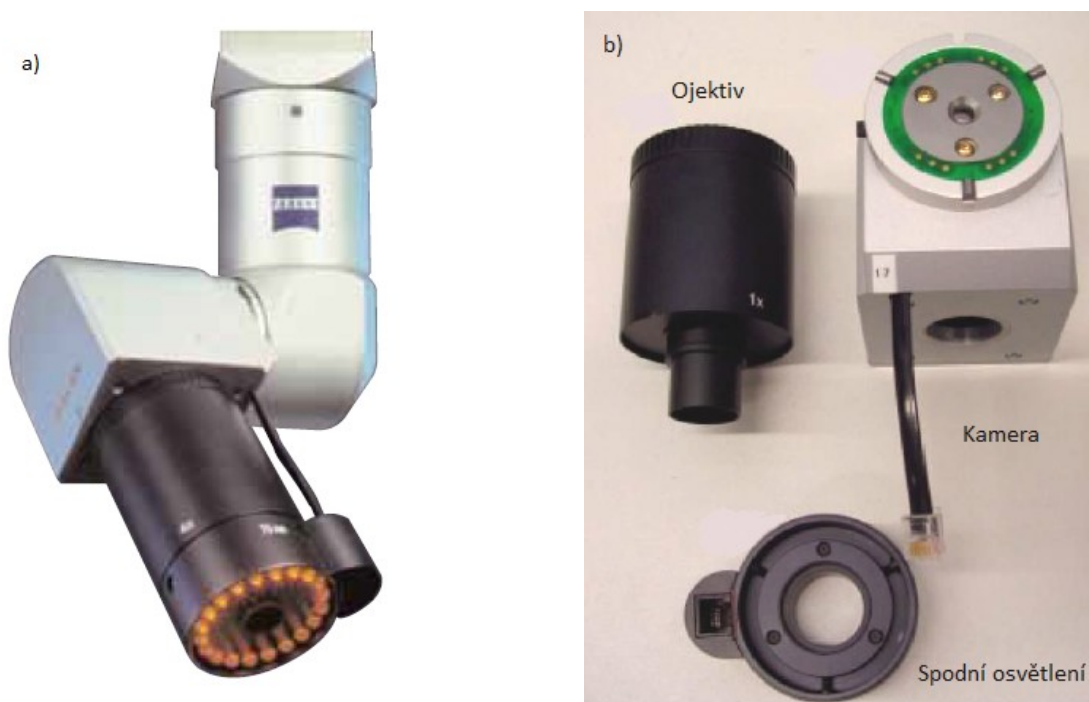
Na výkonnost těchto senzorů mají rozhodující vliv různé jednotlivé součásti optického měřicího stroje, jako např. osvětlení, optika, čip senzoru, elektronika a algoritmus pro výpočet. Nejlepších výsledků, co se týká nejistoty měření, lze dosáhnout telecentrickými objektivy.

Z technického a uživatelského pohledu je účelné navzájem kombinovat velké a malé zvětšení. Největší flexibilita se dosáhne použitím zoomovací optiky.



Obr. 42 **Princip konstrukce senzoru na zpracování obrazu s osvětlením procházejícím a dopadajícím světlem**

Moderní náhradou měřicích mikroskopů nebo CMM jsou **kamerové systémy** (obr. 43), u kterých je obraz snímán pomocí CCD kamery, případně CMOS snímačem. U CMM se používají s osazenou kamerovou hlavou.



Obr. 43 Optický kamerový systém

a) 2D kamerová snímací hlava (Zeiss RDS ViSCAN), b) Konstrukce hlavy ViSCAN

Výhodou kamerové snímací hlavy ViScan firmy Carl Zeiss je možnost jejího osazení na rotační RDS hlavu a tím získání možnosti natočit snímač do téměř libovolné polohy.

2.2.2.1.4 CCD kamera (Charge-Coupled Device)

Slouží k digitalizaci obrazu a za pomoci vyhodnocovacího softwaru se používají pro zachycení obrazu (Frame-Grabber-Boards nebo rozhraní Firewire).

Princip měření: Obraz snímáný pomocí CCD kamery nebo CMOS snímače, nahrazuje oko operátora, kde obraz je digitalizovaný a následně je zpracováván a to buď manuálně operátorem, nebo automaticky za pomoci využití vyhodnocovacího softwaru.

Výhodou CCD kamery oproti konkurenčnímu snímači CMOS je dobrá metrologická kvalita. Obzvláště lineární vztah mezi vstupním signálem (intenzita světla) a digitálním výstupním signálem je potřebný pro přesné měření. Dost velkou úlohu hraje i software, kterým se zjišťují měřené body z digitalizovaných dat obrazu, ovlivňuje významně kvalitu výsledků měření senzorů zpracováním obrazu.

V zásadě se rozlišují dvě koncepce software:

- „Edge Finder“ (vyhledávač hran),
- Zpracování obrysového obrazu.

Edge Finder

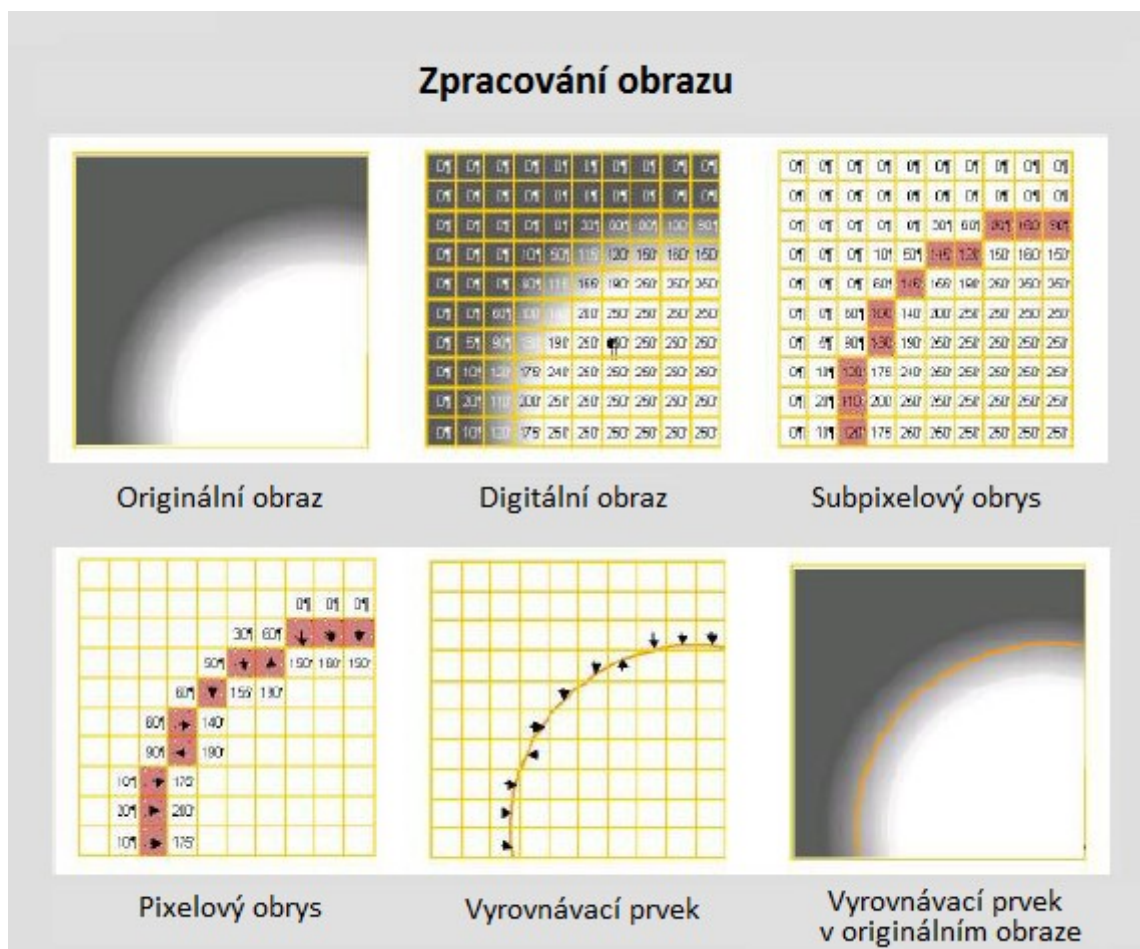
Pomocí Edge Finder se zjišťují průsečíky předem definovaných přímek v obraze s viditelnými obrysy objektu. Toto se postupně opakuje na mnoha místech předem určené vyhodnocovací oblasti. Tak vznikne množství měřených bodů, které jsou sloučeny do skupiny. Pro každé

určení jednotlivého bodu proběhne však samostatné jednorozměrné vyhodnocení. Rozsáhlá dvojrozměrná informace obsažená v obraze se tak nezohlední. To vede, obzvláště při měření v dopadajícím světle, k problémům. Rušivé obrysy způsobené povrchovými strukturami, vylomením a znečištěním lze rozpoznat a kompenzovat jen podmíněně.

Zpracování obrysového obrazu

Při zpracování obrysového obrazu (obr. 44) se obraz bere v rámci vyhodnocovacího okna jako plošný celek. V tomto obraze se vhodnými matematickými algoritmy (operátory) extrahují obrysy. Každému obrazovému bodu (pixel = prvek obrazu) obrysu se potom přiřadí měřený bod. Měřené body se řadí za sebou, to dává možnost zjistit rušivé vlivy při měření a odfiltrovat je bez toho, že by se změnil tvar. Uvnitř zachycené oblasti může být více různých obrysů. To je důležité pro použití v praxi.

Rozlišením, nebo nejistotou měření je přímo omezená vzdáleností pixelů.



Obr. 44 Zpracování obrysového obrazu

Senzory měřící vzdálenost

Všemi předchozími vizuálními senzory je možné provádět měření jen v rovinách, tím je možné pouze měření ve 2D popřípadě (2½D) objektů. Pro 3D měření objektu je potřebná doplňková metoda k měření v třetí souřadnici. Radíme sem senzory na měření vzdálenosti, které zjišťují vzdálenost mezi senzorem a povrchem měřeného objektu.

Přídavnou funkcí senzorů měřících vzdálenosti je autofokus.

Autofokusová metoda

Princip zachycení povrchu součástky se provádí autofokusovou metodou s pohyblivou kamerou pro všechny body obrazu současně. Jedním přechodem požadované oblasti měření ve směru optické osy se nasnímá za několik sekund velké množství naměřených bodů.

Výhoda je, že mimo standartního senzoru zpracování obrazu není potřebný žádný doplňkový hardware.

Mezi plošné senzory se řadí např. laserový senzor Werth 3D-Patch, který umožňuje jednoduché a rychlé 3D zachycení povrchu.

2.2.2.2 Principy pro 3D měření objektu

Řadíme sem optická zařízení, která jsou založena na bezkontaktním způsobu snímání „3D digitalizace“. Bezdotykové systémy měření se považují za skenery (digitizéry). Digitální 3D podoba reálného objektu se získá měřením třetí souřadnice, použitím optické metody triangulace a interference světla (tyto metody využívají několik CCD kamer, laserové zařízení a další pomocná zařízení).

Rozdělení skenerů podle konstrukce:

- stacionární (pevné),
- mobilní (přenosné).

Stacionární skenery – jsou vázány na jedno místo a skenovaný předmět je nutné dopravit k nim.

Mobilní skenery – dají se lehce přenášet a dopravit ke skenovanému předmětu. Mají malé rozměry, a jsou rychle smontovatelné a lehké na převoz.

Způsoby skenování předmětu:

- otáčející se,
- stojící (nehybné).

Otáčející se předmět – zařízení stojí a otáčí se předmět.

Stojící (nehybný) předmět - měřený předmět stojí a otáčí se zařízení (případně se přesune na další stanoviště).

Výhodou těchto přístrojů je, že mají značnou produktivitu a vytvářejí po nasnímání bodů hustou síť bodů. Přístroje jsou vhodné pro snímání venkovní geometrie, ale existují i systémy pro snímání vnitřní geometrie.

Podle použité technologie snímání rozdělujeme bezdotykové skenery na:

- optické skenery,
- laserové skenery,
- mechanické skenery,
- destruktivní skenery,
- ultrazvukové skenery,
- rentgenové skenery.

2.2.2.2.1 Optické 3D skenery

Optické skenery pracují na principu bezdotykového snímání, digitalizují vnější povrch a dokážou rozpoznávat i textury povrchu.

Princip činnosti optických skenerů spočívá v tom, že skenovaný objekt je snímán z několika úhlů. Při každém natočení se součástka naskenuje (vyfotí) a data se odešlou do PC na zpracování.

Postup skenování (kamera, fotoaparát):

- příprava objektu (na povrch se nalepí značky),
- snímání povrchu (kamera, fotoaparát)
 - **kamera** – předmět se nasvítí a pomocí pruhového projektoru se vysílají pásy, které kopírují povrch předmětu a zároveň jsou snímány kamerou. Pomocí pásů a značek se rozpoznává povrch.
 - **fotoaparát** - předmět se nafotí z různých stran a pomocí značek si systém poskládá fotografie do prostorového zobrazení. Nesmí chybět měrka, která rozpoznává vzdálenosti nafocených bodů (větší množství nebo hustota fotografií zvyšuje kvalitu celého procesu).

Značky slouží k přesnějšímu vystihnutí tvaru povrchu.

Natočení skenovaného předmětu může být:

- ruční,
- pomocí otočného stolu (krokový motor řízený PC).

Po získání všech snímků, ze všech stran (úhlů pohledu) se data zpracují a pomocí metody aproximace se vytvoří digitalizovaný model.

Většina skenerů umožňuje vytvářet počítačové modely použitím:

- snímaných bodů,
- polygonů,
- křivek typu spline,
- standardních geometrických entit.

Kvalita objektu se dá dosáhnout:

- počtem získaných snímků (čím jemnější vzorkování polohy, tím vyšší shoda s originálem),
- jednobarevné pozadí za skenovaným objektem (nejlepší je ta barva, která je víc kontrastní s objektem), aby bylo možné oddělit součástku od prostředí,
- před skenováním vhodně vyznačit na součástce orientační body, které slouží pro přesnější spojování obrázků do 3D tělesa.

Vzhledem na to, že optické skenery jsou zařízení, kde jednotlivé snímky jsou „obyčejné“ 2D fotografie, mají své výhody i nevýhody.

Výhoda – informace o povrchu skenované součásti (textuře), jsou obsáhnuté už ve skenovaných datech, proto je není potřeba uměle dotvářet.

Nevýhoda – z 2D obrázků (profilů) nedokáže systém rozpoznávat neprůchozí díry. Jediné, co tento přístroj dokáže rozpoznat, jsou nepatrné náznaky změny hloubky povrchu v kritických místech prohlubin.

Využití: měření deformací, vibrací při statickém a dynamickém zatěžování.

Optický skener se dá mimo 3D skenování použít i jako souřadnicové měřicí zařízení.

Mezi optické 3D skenery můžeme zařadit:

- pruhový projektor,
- digitální fotoaparát.

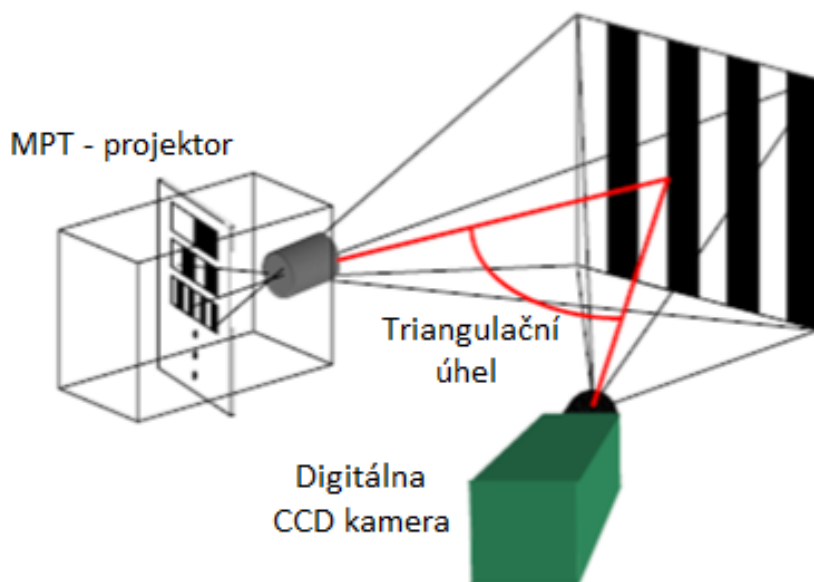
Pruhový projektor - pracuje na principu 3D aktivní triangulační metody.

Pruhový projektor na snímání objektu promítá proužky světla, zachytává a zaznamenává je za pomoci digitálních kamer. Při digitálním fotoaparátu je snímání objektu snímáno z určité vzdálenosti a za pomoci metody triangulace je 2D obraz převeden do 3D (prostorové) podoby.

Pruhová projekce (obr. 45)

Princip - Skenovaný objekt se snímá pomocí skeneru z několika úhlů, ale aby se rychleji a lehčeji sestrojil model, tak se na snímání objektu nalepí pomocné značky: Pomocí nichž systém vypočítá pozici měřených kamer a přesněji sestaví 3D model. Je potřeba vytvořit co nejvíce kontrastní pozadí se snímáním objektem, aby nenastal problém s odlišením objektu od prostředí. V případě, že povrch je příliš lesklý, nebo tmavý je nutné ho vhodně nasvítit. U průhledných objektů se využívá křídový sprej.

Na povrchu snímání předmětu jsou pruhovým projektorem promítané proužky světla, tzv. metoda **Fringe Light Projection** a prostřednictvím jedné, nebo dvou vzájemně posunutých digitálních kamer se snímá objekt. Tímto způsobem se získají obrazy z různých úhlů, kde se následným digitálním zpracováním s danou přesností vypočítá poloha každého obrazového bodu, a za pomoci úhlů, které svírají sdružené paprsky, se dopočítá třetí souřadnice bodu (aby bylo dosaženo většího rozlišení s jednoznačným přiřazením bodů k jejich prostorovým souřadnicím, promítají se na povrchu postupně různé vzory).



Obr. 45 **Princip promítání pruhů**

Fotogrammetrie

Fotogrammetrie je jednou z optických metod, která se zařazuje mezi nekontaktní pasivní 3D měřicí metody a funguje na principu jako lidské oči. Zabývá se rekonstrukcí tvarů, měřením rozměrů a určováním polohy objektu, které jsou zobrazené na fotografických snímcích.

Snímkování se provádí pomocí fotogrammetrických metod, které můžeme rozdělit na:

- univerzální,
- kombinované,
- integrované.

Princip fotogrammetrie - základem je, že ze dvou nebo více snímků stejného objektu v různých směrech je možné získat prostorové souřadnice kteréhokoliv bodu vyskytnutého na všech snímcích.

Fotogrammetrii je možné rozdělit podle různých kritérií jako např.:

- vzdálenost objektu a pozice fotoaparátu (kamery),
- počtu měřených snímků,
- způsobu pořízení a vyhodnocení,
- dostupnosti výsledku měření,
- atd.

U všech druhů fotogrammetrie se uplatňují stejné principy.

Fotogrammetrii definují dvě základní oblasti:

- v první oblasti se jedná o fotografie a jejich principy, které se tam uplatňují,
- v druhé oblasti je metrologie, která popisuje techniky získání 3D souřadnic ze 2D fotografií.

Provozování fotogrammetrického systému je levné, rychlé, přesné jako měřicí mechanické zařízení.

Fotogrammetrický systém se skládá z:

- digitální kamery,
- notebooku,
- samolepících značek a kalibrační tyče.

Přesné 3D modely se začaly vytvářet pomocí metod fotogrammetrického měření a optické digitalizace, kterou využívají systémy TripTop (obr. 46) a ATOS (obr. 47).

Optický měřicí systém TRITOP

Systém TRITOP (obr. 46) je fotogrammetrický přenosný optický měřicí systém, který je určený pro bezkontaktní měření polohy a deformace diskrétních bodů (případně kontrastních čar). Pracuje na triangulačním principu a ze vztahů mezi úhly se vypočítají prostorové souřadnice zjištěného geometrického prvku. Systém je určený pro měření kontroly kvality, deformační analýzy a digitalizace.

Proces měření je možné rozdělit následovně:

- označení (kruhovými značkami) – příprava objektu zkoumání,
- pořizování snímků (libovolný počet snímků z různých stran, aby se na snímcích vyskytli všechny body min. 3 krát, ale součástí musí být i kalibrační tyč, položená vedle měřeného předmětu),
- automatizovaný výpočet,
- zpracování výsledků měření (výsledkem je mrak 3D bodů, mezi nimiž se dají přesně měřit vzdálenosti).

Výhoda: postup měření trvá cca 1hod.

Nevýhoda: není vhodný pro sériové měření.

Zařízení umožňuje měřit i např. deformace objektu a to ve dvou fázích (deformovaném nebo nedeformovaném stavu).

Deformovaný stav – lze dosáhnout při provozu působením vnějších sil nebo tepelným zatěžováním, následně systém deformace vyhodnotí a odešle (např. do řídicího střediska), kde se přijmou potřebné opatření.



Obr. 46 **Zařízení TripTop**

ATOS (Advanced Topometric Sensor)

Zařazujeme ho mezi mobilní optické 3D souřadnicové zařízení. Měření je založené na principu triangulační metody (více kamer s kalibrací) a digitálního image processingu. Využívá se, kde se požaduje vysoká hustota dat a uplatňuje se v technologiích CAD, CAM nebo FEM. Mezi nejnovější zařízení ATOS patří ATOS III Triple Scan.

ATOS III Triple Scan je průmyslový přenosný optický 3D skener s největším rozlišením CCD čipu. Určený je pro náročnější aplikace, např. jako měření velkých dílů a malých detailů na povrchu. Jeho rozlišení CCD čipu je 8 000 000 bodů na 1 záběr, přičemž maximální měřicí rozsah je 2000 x 1500 mm při rozlišení 1 bod na 0,61 mm.

Princip skenování - před skenováním se na snímáný objekt pravidelně umístí pomocné značky, pomocí kterých systém vypočítá pozici měřících senzorů a změřené hodnoty transformuje přímo do souřadného systému objektu. Na povrchu objektu jsou promítané proužky světla a pomocí dvou kamer jsou snímány z různých úhlů. Za pomoci digitálního zpracování obrazu se s vysokou přesností vypočítají 3D souřadnice každého pixelu na snímku (pro každou kameru zvlášť).

Výhoda:

- nedochází ke zkreslení souřadnic při změnách okolního osvětlení (protože CCD geometrie a projektor je při měření současně kalibrován),
- není nutné objekt skenovat po pravidelných úsecích, ale stačí vytvořit snímky nepravidelné a díky pomocným značkám systém vyhodnotí přesnou pozici snímku.



Obr. 47 **Optický skener ATOS III Triple Scan**

2.2.2.2 Laserové 3D skenery

Laserové skenování je založeno na principu triangulace a řadíme je mezi aktivní metody digitalizace. Tyto laserové skenery pracují na stejném principu jako např. sonar, který využívá vlastnosti laserového paprsku. Systém obsahuje zdroj laserového světla a optický detektor (digitální kamera – snímá deformovaný vzor na naskenované součástce). Laser vysílá světlo v podobě čáry nebo složitějšího vzoru (obr. 48). Laser je zdrojem intenzivního monochromatického a časově i prostorově koherentního záření.

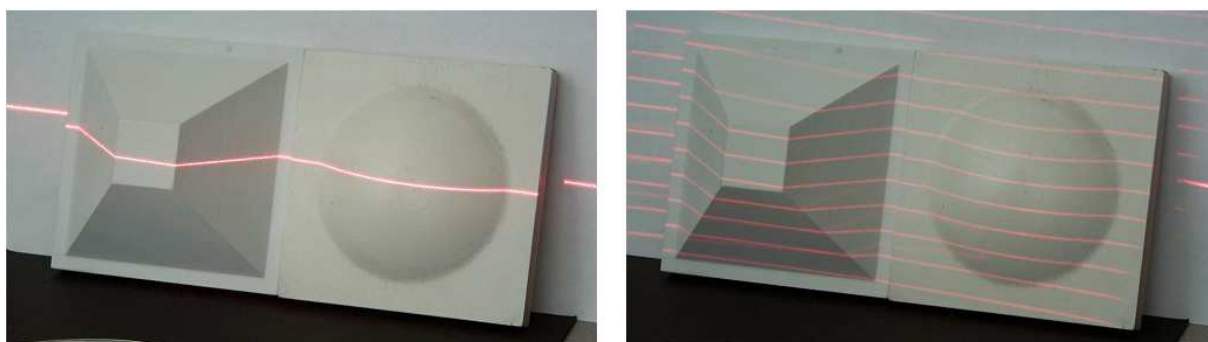
Laserový paprsek může být usměrňován:

- zrcadly a přijímaný CCD senzorem, jehož poloha je stejná jako umístění vysílacího zařízení (jednokamerové skenery),
- se dvěma snímači, které se nacházejí na protilehlých koncích, a ve středu je umístěn vysílač.

Princip skenování – spočívá v tom, že se kolmo proti předmětu vyšle laserový paprsek, který se od objektu odrazí a vrátí se zpět do skeneru, kde se vyhodnotí. Vyhodnocením doby, která uplyne od vyslání po návrat paprsku, získáme informaci o rozměru předmětu ve směru letu paprsku (vzdálenostní skener). Informace o zakřivení povrchu vyplývá z úhlu, pod jakým se paprsek vrátí zpět do skeneru. Spojením obou základních informací skener získá přesnou polohu bodu, kterou potom vyšle do PC. Takovýmto způsobem otuče celý objekt (těleso se otáčí na otočném stole a skener stojí na místě).

Kvalita zdigitalizovaného tělesa je dána hustotou, s jakou laserový paprsek pokryl plochu reálného tělesa. Výstupem je soubor dat o polygonech definujících geometrii povrchu zkoumaného tělesa (součástky).

Tento princip skenování zachytí jen geometrii povrchu, ne však jeho texturu. Na získání textury se používá spojení laserové technologie s optickou.



Obr. 48 **Příklad laserového skenování**

Výhody laserových skenerů:

- vysoká přesnost měřené geometrie,
- rychlá a lehká obsluha oproti optickým skenerům,
- schopnost rozpoznat neprůchozí otvory, prohlubiny a výstupky,
- možnost skenování velkých těles.

Nevýhody laserových skenerů:

- menší produktivita oproti jiným metodám,
- vyšší cena oproti ostatním typům skenerů,
- problémy skenování při skenování lesklých a průhledných povrchů.

Do kategorie 3D laserových skenerů, řadíme laserové senzory a ty dělíme na:

- bodové a bodové na Foucaultově principu,
- vícerozměrné laserové senzory na měření vzdálenosti.

Laserové senzory bodové

Princip měření laserového bodového senzoru spočívá v tom, že na měřený objekt se promítá světelný paprsek (laserová dioda), kde se odrážející světelná skvrna zobrazí na optoelektrickém senzoru. Vhodným postupem se odvodí poloha měřeného bodu. Většina metod spadá pod interferometrickou a triangulační metodu.

Triangulační senzory využíváme v automatizační technice, kde výsledek měření do značné míry závisí na struktuře a úhlu sklonu povrchu a to vede k velké nejistotě měření, která umožňuje použít tuto metodu jen v několika přesných CMM.

Lepších výsledků se dá dosáhnout pomocí Foucaultova principu.

Foucaultův princip

Využívá úhel aparatury zobrazovací optiky senzoru jako trigonometrický úhel, a namísto laserového bodu se zobrazí na objektu Foucaultovo rozhraní, které se nachází v dráze paprsků. Vyhodnocení signálů se uskuteční pomocí diferenčních fotodiod. Zjištěná odchylka od nulové polohy laserového senzoru se používá k doregulování příslušné osy CMM. Výsledek měření se získá překrytím naměřených hodnot laserového senzoru a CMM. I při tomto způsobu měření může výsledek měření ovlivnit povrch materiálu a sklon povrchu, takže je potřebná korelace veličin těchto vlivů. Vhodným softwarem je možné snížit nejistotu na základě vysoké přesnosti CMM.

Výhody laserového bodového senzoru:

- vyšší rychlost měření (oproti laserovému senzoru pracujícímu na Foucaultově principu) za 1 vteřinu se dá změřit několik tisíc bodů,
- vhodné pro skenování povrchů profilů.

Vícerozměrné laserové senzory na měření vzdálenosti

Mezi vícerozměrné 2D/3D laserové senzory řadíme:

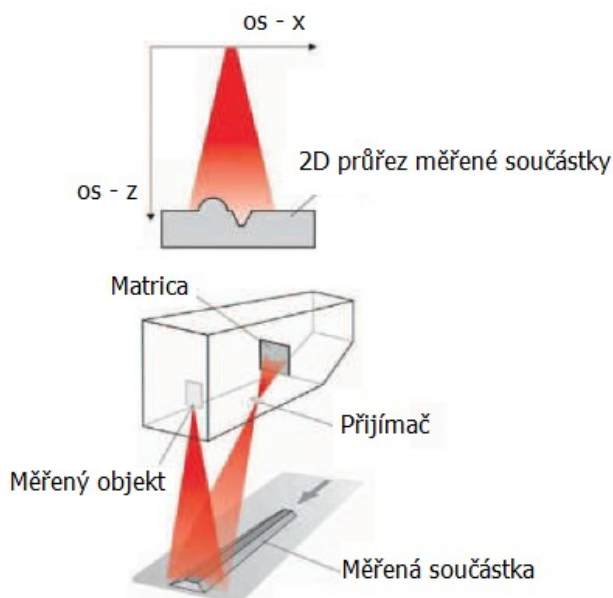
- liniové senzory (2D),
- plošné senzory (3D).

Obě dvě metody fungují podobně jako bodové senzory při vzdálenosti (1D).

Liniové senzory - pracují na principu 2D aktivní triangulační metody.

Princip – laserový paprsek se uveďe do pohybu pomocí pohyblivého zrcadla integrovaného v hlavě senzoru, kde se vyhodnocení uskuteční pomocí maticové kamery, takže se získá výsledek měření ve formě mnoha bodů zjištěných pomocí triangulace a tím se změřila linie (světelný řez) na povrchu měřeného objektu.

Při měření 3D povrchu se pohybuje CMM kolmo k rovině řezu. (obr. 49).



Obr. 49 Laserový skener

Laserovým skenerem se získává obrovské množství bodů, které je potom filtrováno na trojúhelníkovou síť, která se dá použít např. pro pevnostní výpočty součásti.

Ve všeobecnosti se dá laserové skenování využít:

- RE – Reverse Engineering,
- komplexní porovnání naskenované součástky s jejím CAD modelem,
- měření poddajných součástek.

Nevýhodou laseru je citlivost na lesklé plochy.

Do kategorie mobilních laserových 3D skenerů, můžeme zařadit:

- MINOLTA Vivid VI-900 (obr. 50),
- HandyScan 3D,
- Laserový Tracker.

Mobilní laserový 3D skener - MINOLTA VI-900

Je založený na principu 2D triangulace.

Použití: pro ověření správnosti a tvarovou inspekci vnějších obráběných dílů, zápusťek, odlitků, lisovaných částí a prototypů.



Obr. 50 3D Laserový skener Minolta Vivid VI-900

Mobilní (přenosný) laserový skener – HandyScan 3D (obr. 51)

Je založený na principu triangulace.

Princip – Pro určení polohy skeneru vzhledem ke snímanému předmětu se používají náhodně rozmístěné reflexní značky, které mohou být umístěné na podložce, nebo přímo na snímané součásti. Jakmile obě kamery současně vidí minimálně 3 reflexní značky, tak je systém schopen automaticky určit polohu snímané součástky.

Pro vzájemný pohyb měřené součástky a skeneru je nutné vidět čtyři reflexní značky. Pomocí automatického polohování, může skener snímat vnitřní a vnější části. Skener snímá z povrchu nepravidelnou síť, vytvořenou z referenčních značek a laserový kříž pro získání informací o ploše. Z nasnímaných dat se sestaví polygonová síť, která je daná třemi vrcholy trojúhelníka a směrem normály.



Obr. 51 HandyScan 3D

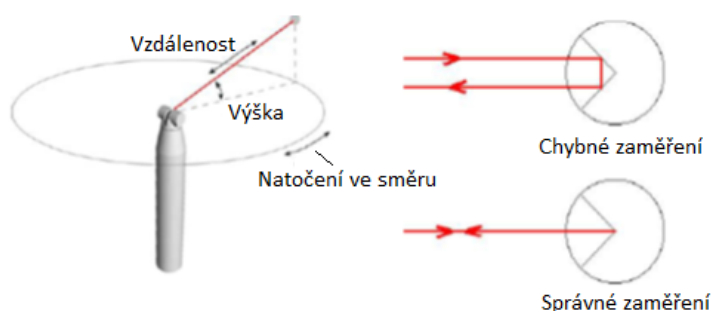
Laser tracker

Zařazujeme k mobilním měřícím systémům, které sledují polohu odrazového systému z určité vzdálenosti. K měření snímaného objektu využívají laserový měřič vzdálenosti typu TOF (Time of Flight) o dvou přesných úhlových senzorech polohy (enkóдеры) a softwaru pro výpočet, ukládání a zobrazení polohy odrazového systému (reflektoru).

Princip – Laserový paprsek vycházející z vysílače se ovládá podle pohybu reflektoru dvěma servomotory, které natáčí laserovou hlavu. Sledovaný obraz laserového pulzu na reflektoru je aktualizovaný 1000 krát za sekundu, zajišťuje přesnost a opakovatelnost. Reflektor je vedený ručně nebo automaticky na objekty připravené k měření.

Postup měření – Nejprve se změří body na povrchu, přímky, oblouky, kružnice pro zavedení souřadnicového systému. Úhlové senzory zaznamenají směr a výškový úhel reflektoru (obr. 52) (to je dostačující při přesném nalezení středu reflektoru), v případě že paprsek narazí mimo střed reflektoru, tak dopadne mimo střed senzoru citlivosti PSD (Position Sensing Detector) a systém zahlásí chybu signálem.

Při měření vzdálenosti laserovým interferometrem se rozdělí paprsek do dvou svazků. Jeden svazek se vrátí zpět do interferometru a druhý dopadne na elektrický obvod, kde se počítá vzdálenost reflektoru od trackeru na základě cyklické změny vlnové délky.



Obr. 52 Laser tracker a jeho schéma určení pozice reflektoru

2.2.2.3 Ruční 3D skenery

Ruční skenery jsou dotykové skenery. Jejich konstrukce připomíná tvar lidské ruky. Skládají se ze základny, měřícího hrotu a několika ramen spojenými klouby.

Princip skenování – na ručním 3D skeneru spočívá v tom, že za pomoci kontaktní sondy naskenujeme objekt, který je umístěný na mechanickém ramenu (obr. 53) nebo na pevném rameni, když se jedná o přesné stacionárně souřadnicové měřicí zařízení (obr. 53).

Jestliže se jedná o mechanické rameno, tak rameno má v každém kloubu senzor, zaznamenávající polohu a natočení každého ramene v tom místě. Pomocí těchto senzorů systém rozpozná polohu každého nasnímaného bodu.

Postup skenování:

- příprava skenovaného objektu,
- vyznačení bodů (pro lepší vystihnoutí tvaru objektu, kde počet a umístění bodů je úměrné tvarové členitosti povrchu),

- výstup snímání (body a křivky dané souřadnicemi (x, y, z) – pomocí nich se vytvoří virtuální model skenované součástky v podobě mračka bodů).

Virtuální model je připravený na další měření nebo aplikace Reverse Engineering.

Nevýhoda:

- menší přesnost při měření (cca desetiny milimetrů),
- delší čas skenování procesu (kvůli manuálnímu skenování),
- nepodává informaci o textuře povrchu.

Výhoda:

- nižší cena oproti skenerům založených na jiných způsobech snímání,
- podává informaci o tvaru,
- vhodné pro měření složitých těles (jako např. dutin, tak i nerovnoměrných povrchů).

Využití:

- v designu
- ve filmovém průmyslu (při animacích a tvorbě počítačových her),
- apod.



Obr. 53 **Ruční skener Microscribe MX**

Na obrázku je mechanický skener, který je napojený na sériový port počítače a dokáže nasnímat až 1000 bodů za sekundu.

2.2.2.2.4 Destruktivní skenery

Destruktivní skenery (obr. 54) – jsou skenery, které během skenování zničí skenovaný předmět.

Destruktivní skener dokáže skenovat:

- vnější i vnitřní geometrii předmětu,
- umožňuje digitalizovat složité tvary i dutinu uvnitř skenované součástky.

Postup používání destrukčního skeneru:

- před použitím se předmět zalije speciálním materiálem,
- speciální materiál zabezpečí vysoký kontrast barvy materiálu s předmětem a vyplní všechny dutiny,
- připravený blok se vloží do skeneru a připevní se k frézce,
- fréza odfrézuje velmi tenkou vrstvu zalitého předmětu (průběh následuje automaticky),
- skenovací systém nasnímá novu vzniklý povrch,
- celý postup pokračuje tímto způsobem, než se neodfrézuje celý zalitý blok (obsahující předmět),
- poslední krok spočívá v transformaci 2D nasnímaných údajů jednotlivých vrstev do 3D modelu.

Výhoda: destruktivní skener dokáže digitalizovat i vnitřní část předmětů (oproti optickým, laserovým, mechanickým skenerům).

Nevýhoda: zničení celé součástky.



Obr. 54 **Destruktivní skener CCS-3000**

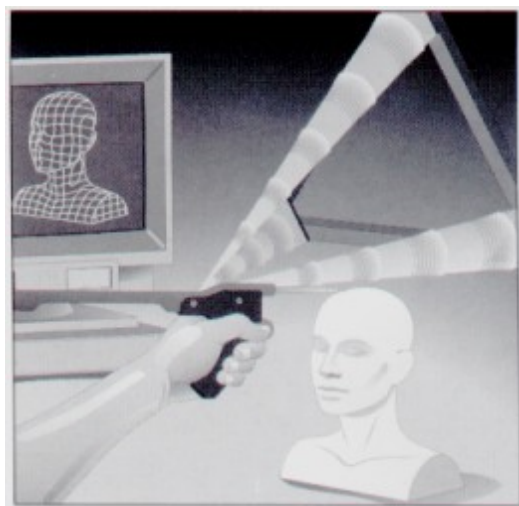
2.2.2.2.5 Ultrazvukové skenery

Zařazujeme je mezi nedestruktivní mobilní skenery. Tento způsob 3D digitalizace funguje na principu bezkontaktního snímání povrchu objektu ultrazvukovou sondou. Skenování se provádí manuálně ultrazvukovou sondou, která má tvar pistole s kovovým hrotem, který přikládáme ke skenovanému povrchu, kde stisknutím páčky (spouště) dojde k vyslání signálu. Tento signál se dekoduje za pomoci ultrazvukových čidel do prostorových souřadnic, které se můžou vyslat do CAD systému.

Výhoda: nižší cena.

Nevýhoda: malá přesnost (pohybuje se v rozmezích 0,3 – 0,5 mm).

Využití: v oblasti filmu, reklamy a animací.



Obr. 55 Ultrazvukový skener Freepoint

2.2.2.2.6 Rentgenové skenery

Zařezujeme mezi nedestruktivní skenery, fungující na principu bezkontaktního snímání. Rentgenové skenery pracují na stejném principu jako klasické rentgeny.

Technologie skenování je založená na principu získávání informací o vnitřní geometrii součástek použitím rentgenového záření, tak jako to je u klasických rentgenů, jako jsou používané ve zdravotnictví, ale s tím rozdílem, že při tomto je používaná intenzita záření mnohem vyšší.

Zařízení můžou být:

- mobilní (využívané při kontrole potrubí, kotlů nebo jiných uzavřených nádob),
- kombinované (obr. 56) - se zařízením CT (Computed Tomography).

Skenování objektů pomocí rentgenů bývá často zaměnitelné s tzv. defektoskopií, kde se záření využívá k odhalení skrytých vad materiálu, jako např. v metalurgii.



Obr. 56 Kombinovaný rentgenový skener CT & X-Ray firmy Metris, typ XT H 225 a příklady skenovaných objektů

Výhoda: možnost snímat i vnitřní předměty (na rozdíl od ostatních typů skenerů), ale oproti destruktivnímu skeneru se nezničí předmět.

Nevýhoda: nedokáže zachytit barvu objektu.

Použití: při kontrole uzavřených nádob, potrubí, kotlů apod.

2.2.2.3 Metody měření pro 3D objekty

Úlohou měření 3D objektu je získat představu o tvaru a rozměru zkoumaného předmětu. Problém, který při měření musíme řešit, spočívá v tom, že většina běžných měřících a zobrazovacích zařízení (CCD kamera, monitor) transformuje 3D scénu na 2D obraz a tím ztrácíme důležitou informaci o jedné „Z“ - ové souřadnici.

Jedná se o „Z“ – ovou souřadnici, která po aplikaci pohledové transformace vyjadřuje vzdálenost měřeného předmětu od pozorovatele (senzoru).

Jeden ze způsobů řešení dané problematiky přináší např. optické metody měřeného objektu. Při bezkontaktním snímání povrchu reálných předmětů se používají tři základní metody, které spočívají na optických principech.

Jedná se o tyto metody snímání objektu:

- triangulace,
- optická interferometrie,
- měření doby letu světla.

Mezi další metody snímání objektu zařazujeme CT (Computer Tomography), MR (Magnetic Resonance) zařízení. Tyto zařízení jsou omezené na předměty fyzikálních vlastností.

Nevýhoda – měřený předmět je omezené rozměrem daného měřícího zařízení.

Výhoda – přesně zachytí tvary i vevnitř měřeného předmětu.

2.2.2.3.1 Triangulační metody

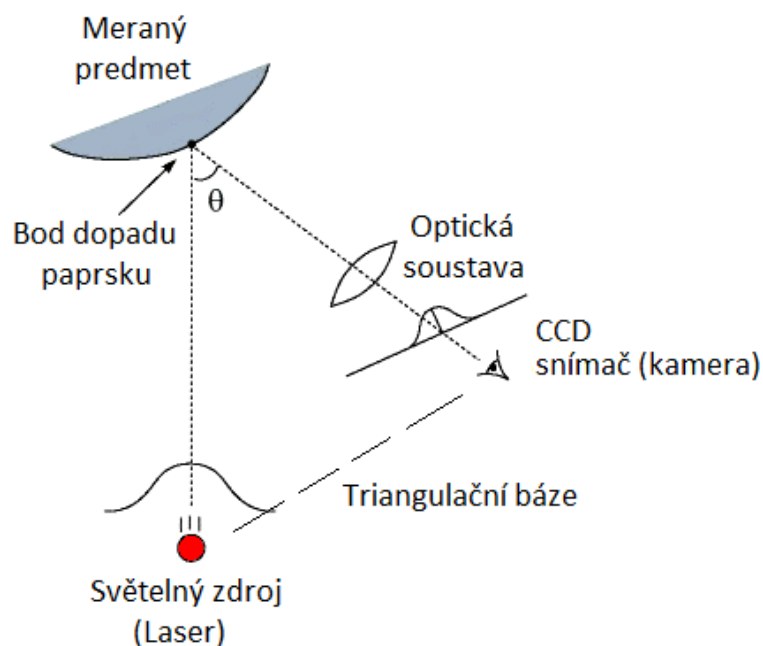
Optické metody založené na principu triangulace jsou v současné době nejčastější používané a můžeme je rozdělit do těchto skupin:

- aktivní triangulace,
- pasivní triangulace,
- měřící systémy s teodolitem,
- fokusovací techniky,
- techniky „podoba ze stínování“.

Aktivní triangulace

Technika aktivní triangulace spočívá ve fotogrammetrické rekonstrukci snímaného objektu nasvícením jeho povrchu světelným zdrojem (např. laserem nebo LED diodou) a současným snímáním povrchu objektu CCD kamer (snímačem) nebo CMOS snímačem a jeho výsledek snímání je rastrový obraz.

Triangulační trojúhelník na zkoumaném předmětu tvoří zdroj světla spolu se snímačem a osvětleným bodem (obr. 57). Spojnice mezi světelným zdrojem a snímačem nazýváme (základnou) triangulační bází. Na straně světelného zdroje je úhel sevřený s triangulační bází konstantní, přičemž na straně snímače (kamery) je úhel určený přeměněnou pozicí vysvíceného bodu CCD snímače (kamery), potom z velikosti úhlu a z poznatků z triangulační báze se dá určit „Z“ – ová souřadnice předmětu.



Obr. 57 Metoda 1D triangulace (Triangulační trojúhelník)

K označení povrchu se používají různé světelné vzory:

- světelný paprsek (1D triangulace) (obr. 57),
- světelný pruh (2D triangulace) (obr. 58),
- strukturovaný světelný svazek (3D triangulace).

Nevýhoda triangulačních metod je, že díky konkavitám (vypuklinám) se na měřeném předmětu nepromítne např. bod, pruh nebo vzor a to způsobí nasnímání daného předmětu.

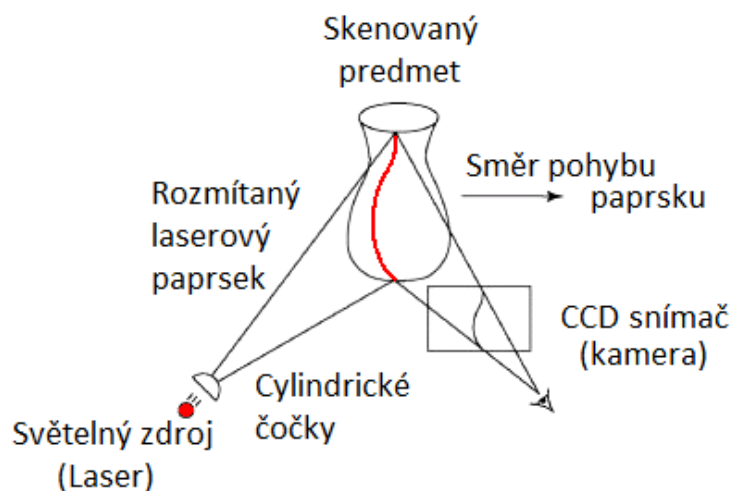
U laserových 3D skenerů např. Minolta Vivid se pro rekonstrukci 3D povrchu používá princip 2D triangulace.

2D aktivní triangulace (obr. 58)

Princip – K měřenému předmětu je vyslaný rozkmitaný laserový pruh, který je snímán pomocí CCD kamery a příslušnou optikou, kde laserový pruh vznikne průchodem laserového paprsku přes speciální optickou soustavu, kterou tvoří cylindrické čočky. Laserový pruh se postupně po povrchu měřeného předmětu pohybuje, neboť za emitorem laserového pruhu a optickou soustavou je umístěné elektronicky ovládané zrcadlo, které laserový pruh vychyluje, na základě tohoto způsobu získáme množství snímků, pomocí kterých dokážeme poskládat povrch tělesa.

Rychlost pohybu zrcadla a zároveň i pohybu paprsku po povrchu měřeného objektu je limitovaná především dobou expozice a rychlostí výpočtu dat z použitého CCD čipu. Tato rychlost se podle světelného výkonu laseru pohybuje cca 10ms ÷ 100ms.

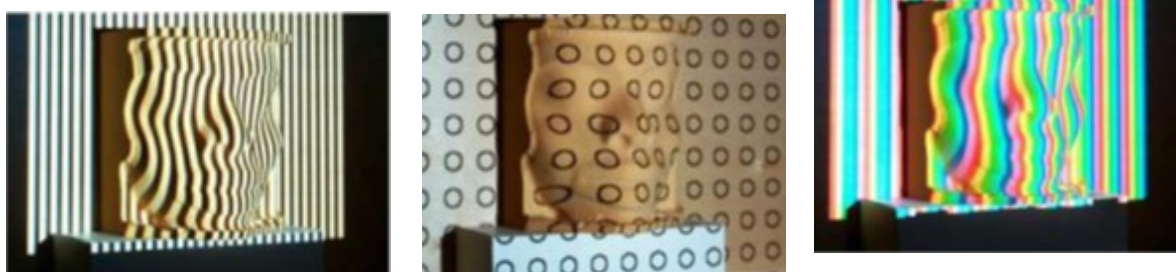
V případě, že použijeme strukturovaný světelný svazek, tak je celý předmět naskenovaný naráz a je to velká výhoda oproti metodám 1D a 2D triangulace, kde se musí pracně a dlouze skenovat předmět.



Obr. 58 Princip 2D triangulace

3D aktivní triangulace

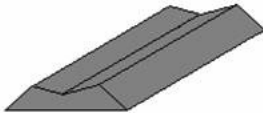
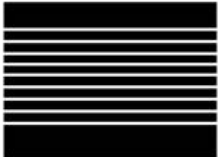
3D aktivní triangulace (triangulační světelný skener), kdy je na 3D měřený předmět promítnutý určitý předem přesně definovaný vzor (nejčastěji projektorem). Vzorem mohou být černé a bílé pruhy (stejně šířky nebo šířky dané určitým binárním kódem) nebo pruhy různých barev, složitých tvarů a křivek, kruhy, čtverce, mřížky (obr. 59). Na skenovaném předmětu je sledovaná deformace daného vzoru a zároveň na základě deformace vzoru se určí tvar předmětu.



Obr. 59 Vzory různých typů skenování triangulačním světelným skenerem

Příklad 3D triangulace:

Na obr. 60 znázorněna jedna z možností 3D aktivní triangulace.

			
3D předmět	Promítaný vzor	Objekt ozářený vzorem	Výsledný obraz

Obr. 60 Postup měřicí techniky světelného vzoru (3D aktivní triangulace)

Pasivní triangulace

Technická pasivní triangulační technika zahrnuje různé formy digitální fotogrammetrie a neuvažuje o geometrickém uspořádání osvětlení.

Používají se tyto základní metody:

- více kamer se známou orientací,
- více kamer se samokalibrací,
- jedna kamera v různých polohách se samokalibrací.

U dynamických systémů se aplikuje více kamer a využívá znalosti relativních poloh nebo samokalibrujících se metod.

U statických systémů se používá jedna kamera, která snímá snímky ze dvou až více poloh.

Metoda u technik se samokalibrací – nemusí být známá poloha kamery, ale přímo ze snímků je určené relativní umístění kamery, vzhledem ke měřenému předmětu nebo vzájemná poloha kamer. Na základě toho je pro tyto účely vhodné vložit do scény kalibrační předmět (předmět známých rozměrů a doplněný definovaný vzor), potom je tento vzor třeba najít v jednotlivých nasnímaných snímcích a z natočení a změny měřítka předmětu jsou určené všechny ostatní parametry pro měření.

Nejčastěji používanou a jednoduchou technikou u pasivní triangulace je stereovidění, ale to je speciální podskupina metod s více kamerami.

Metoda stereovidění (tvar získaný ze stereo snímků)

Stereovidění (obr. 61) je podskupina pasivní triangulace. Na zachycení třetího rozměru se využívá tato metoda, která pracuje na principu, jakým pracuje lidský zrakový systém při odhadu vzdálenosti.

Na základě spolupráce levého a pravého oka vidíme prostorově. Pravé oko si vytváří samostatný obraz nezávisle na levém oku a levé oko zase svůj obraz nezávisle na pravém oku. Sdružené zorné paprsky se v prostoru protínou a protnou se. Touto metodou se vytváří prostorový obraz a tento princip se nazývá stereovidění.

Existuje systém napodobující stereovidění lidských očí. Namísto očí je použita dvojice CCD snímačů, kde jejich vzájemná vzdálenost středů je cca 65 mm (imitace lidského vizuálního systému). Za pomoci dvojice snímačů (snímaného toho jistého objektu s mírně odlišnými pozorovacími úhly) získáme dva stereoskopické snímky, kde tyto snímky představují dva perspektivní obrazy. Z úhlů snímaného sdruženými paprsky (tzv. úhlová paralaxe) je možné získat vzdálenost povrchu od středu pohledu obou snímačů.

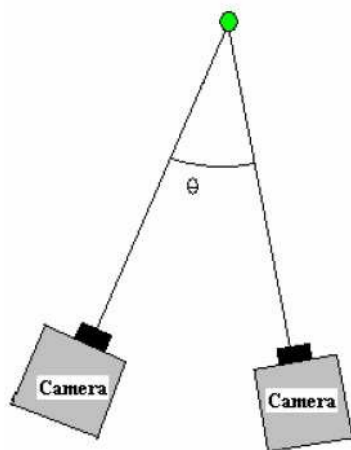
Výsledkem této metody je hloubková mapa znázorňující vzdálenost každého rozpoznatého bodu od snímacího senzoru.

Výhody:

- možnost automatizace,
- schopnost zachycení geometrie a textury,
- nízká cena,
- mobilita.

Nevýhody:

- nízké rozlišení.



Obr. 61 Stereovidení

Měřicí systémy s teodolitem

Teodolit se zařazuje mezi nejpřesnější triangulační princip, který je schopný měřit s relativně malou chybou pod 5-6 %, ale je to na úkor dlouhé doby měření.

Princip měření - měřený předmět musí být zaostřený nejméně dvěma teodolity. Horizontální a vertikální úhly jsou měřené elektronicky (rozlišení až 2,5") a 3D souřadnice jsou určeny z měřených úhlů a ze známých pozic teodolitů.

Využití: pro přesné měření rozměrných objektů (stavebnictví, geodézie atd.).

Další dvě triangulační metody (fokusovací techniky a techniky podobné stínování) nejsou tak používané a nebudou se více rozebírat.

2.2.2.3.2 Optická interferometrie

Metody optické interferometrie (obr. 62) jsou založené na principu měření doby letu koherentního záření, kde vlnění světelného paprsku je rozdělené na měřené a referenční. Zároveň obě vlnění interferují a výsledek je zachycený snímačem (může to být fotodioda, nebo CCD kamera). Při měření se využívá vlastnosti polarizačního děliče a dvou odrazů, přičemž tato metoda umožňuje měřit pouze relativní vzdálenosti zkoumaných bodů a měření absolutních vzdáleností lze provést po kalibraci.

Nejnámějšími principy založených na základech optické interferometrie jsou:

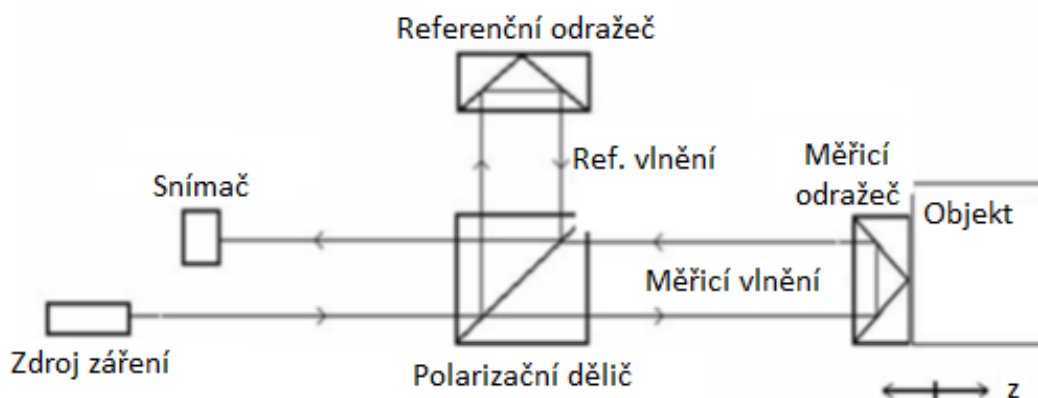
- interferometrie pracující s vícero-vlnovými délkami,
- holografická interferometrie,
- skvrnitá interferometrie,
- interferometrie s bílým světlem.

2.2.2.3.3 Měření doby letu světla

Princip: Vzdálenost bodu na povrchu objektu, resp. jeho „Z“ – ovou souřadnici je možné jednoduše stanovit z doby letu světelného paprsku od času jeho vyslání světelným zdrojem, odražením od snímaného předmětu, až po jeho zachycení snímaným senzorem (jedná se o korelaci rychlosti vhodného referenčního signálu s měřeným modulovaným optickým signálem, ten může být modulovaný pulzně, pseudonáhodně a spojitě).

Nevýhodou metody: je že rychlost světla c je velmi vysoká (cca $3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$) a to má vliv na přesnost měřicího zařízení.

Tuto metodu využívá tzv. laserový dálkoměr, který měří čas, za který se laserový pulz vrátí od odraženého (skenovaného) objektu, nazpět k vysílači. Při měření se využije známá – konstantní rychlost světla. Přesnost skeneru závisí od toho, s jakou chybou jsme schopní čas letu světla změřit.



Obr. 62 Schéma optického interferometru

Výhoda: vhodné pro měření velkých objektů (památky, budovy apod.), kde přesnost v milimetrech nehraje roli.

Nevýhoda: není dost přesná pro skenování velkých detailů objektu (a to na základě, že světlo projde jeden milimetr přibližně za 3,3 pikosekundy).

Tuto metodu doby letu využívá i skener Time-of-flight (TOF).

Skener typu Time-of-Flight (TOF)

Tento typ skeneru využívá laser, který je založený na principu doby letu laserového paprsku.

Z přesně známé rychlosti světla v daném prostředí (pro vakuum je to přesně $v = 299\,792\,458 \text{ m/s}$), známe dobu letu a díky rovnici:

$$z = v \cdot t/2$$

se lehce určí vzdálenost mezi zdrojem a objektem. Pro určení přesnosti 1 mm při měření je potřebná schopnost rozlišení měřicího zařízení 3,33 ps (pikosekunda).



Obr. 63 Příklad skenování typu Time-of Flight (TOF)

V praxi se využívají skenery:

- vysílající krátké impulzy a měřící jen určité body na objektu,
- výkonným laserem, který osvětlí celý měřicí prostor a odrážený signál je snímán plošným senzorem, ten provede signály na mapu časových zpoždění, která může být následně převedená na 3D mapu (obr. 63)



Kontrolní otázka

- O 2.2.1 Jaké jsou systémy spínání sond?
- O 2.2.2 Jaké jsou typy skenerů?
- O 2.2.3 Jak rozdělujeme bezdotykové skenery?
- O 2.2.4 Jaké jsou metody měření 3D objektů?

2.3 POŽADAVKY NA PŘESNOST CMM



Čas ke studiu: 4 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Zdroje chyb při měření a vliv chyb na výsledek měření.
- Popsat ovlivnění přesnosti měřicí sondy, opotřebení kuličky dotyku a přepočtu souřadnic měřeného bodu.
- Znat chyby snímání CMM.



Výklad

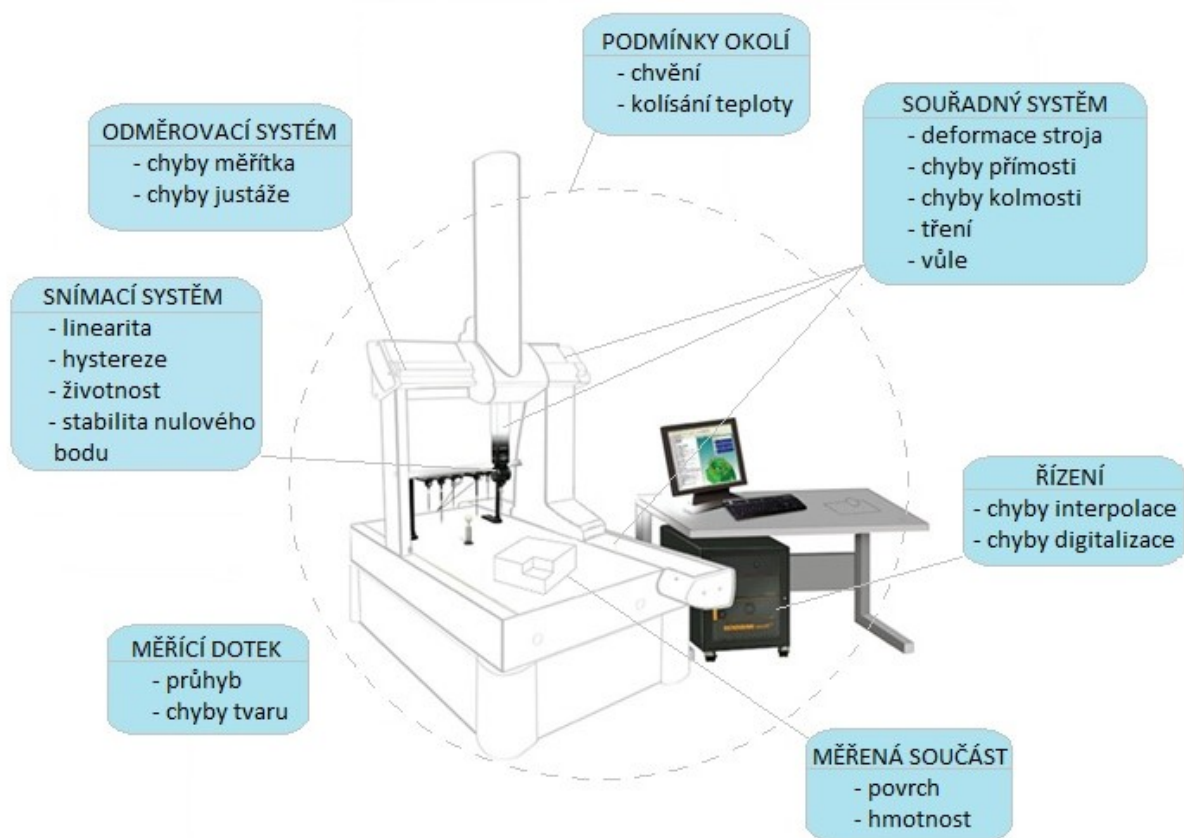
Přesnost CMM je vlastnost, která charakterizuje jeho schopnost dávat údaje shodné se skutečnou hodnotou měřené veličiny. Vyjadřuje kvalitativně stupeň přiblížení naměřených hodnot hodnotám skutečným. Přesnost měření na CMM je ovlivněna dílčími nepřesnostmi.

2.3.1 Zdroje chyb při měření

CMM je složitý systém, který se skládá z velkého množství konstrukčních dílců, a ty mohou být zdrojem parciální chyby měření (obr. 64). Na obr. 65 jsou znázorněné nejvýznamnější zdroje chyb, které se vyskytují při měření.

Faktory, které nejvíce ovlivňují přesnost měření, patří především vliv roztažnosti materiálu měřeného objektu a vliv atmosférických podmínek. Pro názornost můžeme uvést, že chyba 1 μm pro měрку $L = 1000 \text{ mm}$ způsobí změna jednoho z těchto parametrů o následující hodnotu:

- teplota materiálu $\Delta\theta = 0,10 \text{ K}$ (při $\alpha = 10 \cdot 10^{-6}$),
- teplota vzduchu $\Delta T = 1,11 \text{ K}$,
- barometrický tlak $\Delta p = 3,33 \text{ hPa}$,
- relativní vlhkost $\Delta\Phi = 10 \text{ \%}$.



Obr. 64 **Zdroje chyb při měření**
(Justáž – je seřízení měřidla na referenční hodnoty)

2.3.2 Kontrola přesnosti snímacích hlav

Snímací hlava elektrokontaktního typu se rozumí výměnné snímací zařízení, které se upíná do pinoly CMM, včetně napájecí a vyhodnocovací elektronické části. Hlava nemá vlastní měřicí systém a výstupní signál je jen pouze změna stavu.

Popis jednotlivých zkoušek:

Měření sil:

- osová síla F_o působí ve směru osy hlavy,
- měřicí síla F_m působící kolmo k ose.

Velikost měřicí síly se zjišťuje v okamžiku generování signálu snímací hlavy.

Měření dráhových charakteristik:

Všechny charakteristiky přesností jsou zjišťovány ve směru dráhy snímacího předmětu.

Necitlivost snímací hlavy:

Necitlivost snímací hlavy je vyjádřena dráhou, kterou musí snímací předmět přejít od okamžiku dotyku, po okamžik generování signálu snímací hlavy.

Stabilita referenčního bodu:

Referenční bod - je poloha středu snímacího předmětu vzhledem k pevné části snímací hlavy v klidovém stavu.

Stabilita referenčního bodu – je rozdíl poloh středu snímacího předmětu v klidovém stavu po předcházejícím vychýlení snímacího dotyku a jeho samovolným vrácením do klidového stavu.

Pro kontrolu dráhových charakteristik se používá laserinterferometr, ale při měření musí být splněn Abbého princip.

Celková přesnost snímací hlavy:

Celková přesnost snímací hlavy je vyjádřena nejistotou snímání a je vyjádřena vztahem:

$$N_T = \Delta k \pm \sqrt{s_s + s_n + s_r},$$

kde:

Δk – úchylka kruhovitosti snímacího předmětu,

s_s – střední směrodatná úchylka stability referenčního bodu,

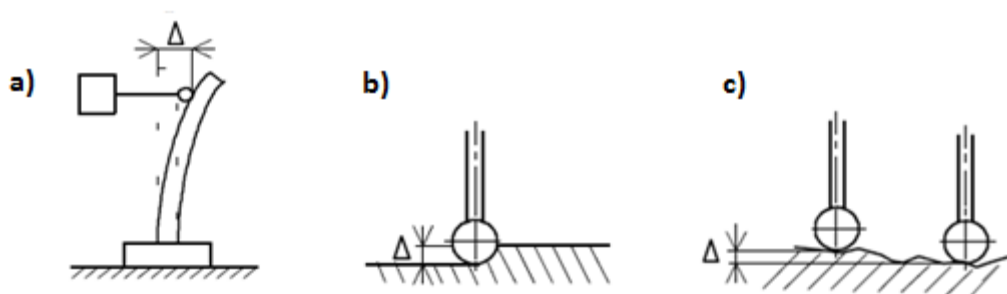
s_n – střední směrodatná úchylka stability referenčního bodu,

s_r – střední směrodatná úchylka stability referenčního bodu.

2.3.3 Ovlivnění přesnosti měřicí sondy

Na přesnost měření má vliv i charakter měřeného objektu. Na obr. 65 jsou znázorněné chyby, které vznikají při měření:

- poddajných součástek,
- součástek, které mají poddajný povrch,
- s velkou tvarovou úchylkou kontrolovaného povrchu.



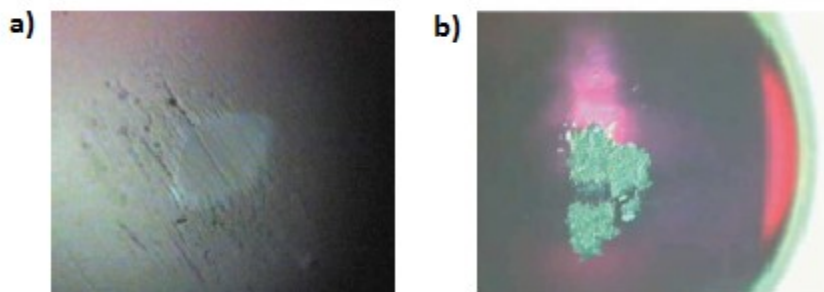
Obr. 65 Chyby vznikající při měření

a) deformace poddajných součástí, b) poddajnost povrchu součásti, c) tvarová úchylka kontrolovaného povrchu

2.3.4 Ovlivnění přesnosti vlivem opotřebení kuličky dotyku

Opotřebení kuličky (obráz. 66) má za následek vznik chyb při měření.

Když dojde ke styku snímací kuličky se součástkou v místě opotřebení, tak vznikají systematické chyby měření (skutečný rozměr snímací kuličky má v místě opotřebení jinou hodnotu, než je hodnota, se kterou CMM počítá).

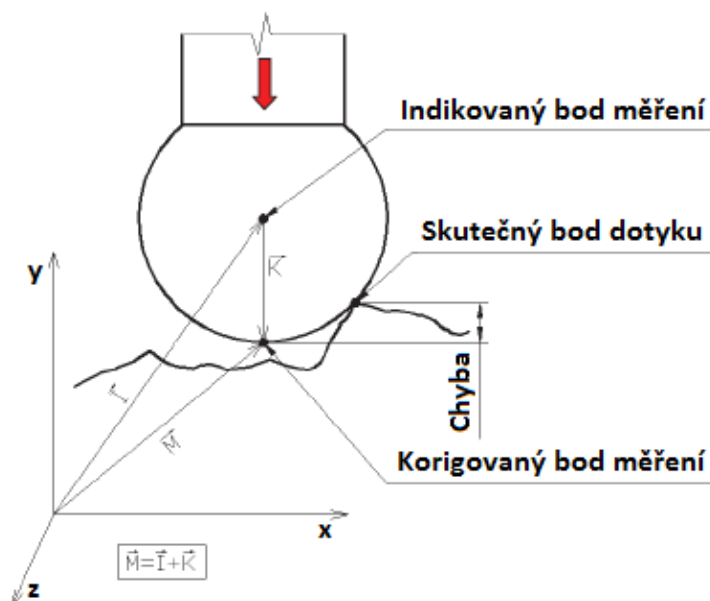


Obr. 66 Opotřebení kuličky dotyku

a) Opotřebení otěrem, b) Usazování hliníku na povrchu kuličky

2.3.5 Ovlivnění přesnosti vlivem přepočtu souřadnic měřeného bodu

Způsob jakým CMM přepočítává souřadnice měřeného bodu, se dá dobře vysvětlit na obr. 67. V okamžiku rozpojení kontaktu snímací sondy dojde k zaznamenání prostorových souřadnic indikovaného bodu měření, který se nachází ve středu snímací koule. Po jeho zaznamenání CMM přepočítá souřadnice do korigovaného bodu měření, který je předpokládaným bodem na povrchu měřeného objektu. Problém je v tom, že není vždy korigovaný bod měření totožný se skutečným bodem dotyku, a proto vzniká chyba měření. Korekční vektor se rovná poloměru snímací koule a je doplněn o korekci systematické chyby, která vzniká při měření.



Obr. 67 Přepočet souřadnic ze snímaného bodu

2.3.6 Přesnost a kontrola CMM

Dosud neexistuje jednotný systém vyjadřování přesnosti měření na CMM a to nejen mezi výrobci, ale ani v ISO nebo ČSN.

Praxe potvrzuje, že otázka přesnosti měření na CMM je velmi složitá, dá se povědět, že výsledná přesnost se mění, a to případ od případu, a dá se konkrétně zjistit a prokázat jen jako pravděpodobnou chybu měření aritmetického průměru řady opakovaných měření, jako výsledek určitého měření zadaného měřeného objektu a zvolené měřicí metody:

- opakovatelnost – je schopnost CMM pokaždé dávat při opakovaném měření stejný výsledek,
- výkonnost – je podíl času, po který stroj měří daný rozměr v rámci svých mezí přesnosti.

Na přesnost CMM stroje se podílejí všechny prvky celého systému, ale obzvlášť se na kontrolu přesnosti stroje dívá výrobce a taktéž uživatel.

Výrobce musí důkladně sledovat přesnost jednotlivých prvků stroje, přičemž uživatele zase zajímá výsledná přesnost celého systému a otázka jeho rychlého a snadného ověření. Z tohoto důvodu rozdělujeme zkušební metody do dvou základních skupin:

- analytické metody (po komponentech),
- metody globální (pomocí etalonu a zkušebních těles).

Analytické metody zkoušení CMM

Tyto metody samostatně hodnotí tyto základní prvky CMM:

- chyby měřicích systémů v jednotlivých osách,
- chyby polohování v jednotlivých osách, ve kterých se projeví chyby měřicího systému a přímosti pohybu,
- chyby vzájemné kolmosti jednotlivých os,
- úchyly rovinnosti pracovního stolu,
- chyby snímacího systému.

Jedním se základních měřidel pro kontrolu CMM je laserinterferometr pro měření délky s rozlišením 0,1 μm , ale tytéž slouží pro kontrolu úchylek přímosti, kolmosti, rychlosti apod.

Pro kontrolu rovinnosti se používá elektronická libela (na délce 1 m má citlivost 1 μm).

Globální metody zkoušení CMM

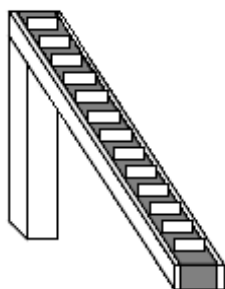
V globálních metodách se získávají globální údaje o přesnosti celého systému CMM jako celku a pro uživatele mají zásadní význam.

Výhoda: jednoduchost a krátkost zkoušek (uživatel může vykonávat sám).

Metody jsou založené na použití etalonu a zkušebních těles:

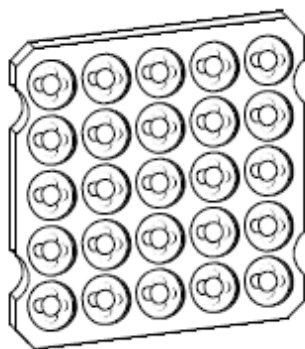
- lineární etalony,
- plošné etalony,
- prostorové etalony,
- kombinované etalony.

Lineární etalony – zařazujeme sem koncové měrky, které je možné použít samostatně, nebo jako sestavu o více rozměrech. U CMM se pro kontrolu odměřování v jednotlivých osách, nabízejí etalony s přesně odstupňovanými vzdálenostmi (obr. 68).



Obr. 68 **Lineární etalon – stupňová měrka**

Plošné etalony – jsou vyráběné jako desky s koulí (ballplate) (obr. 69) nebo desky s otvory (holeplate), za pomoci těchto desek se provádí kalibrace CMM a to ve dvou rovinách horizontálních a dvou rovinách vertikálních.



Obr. 69 **Plošný etalon – ballplate**

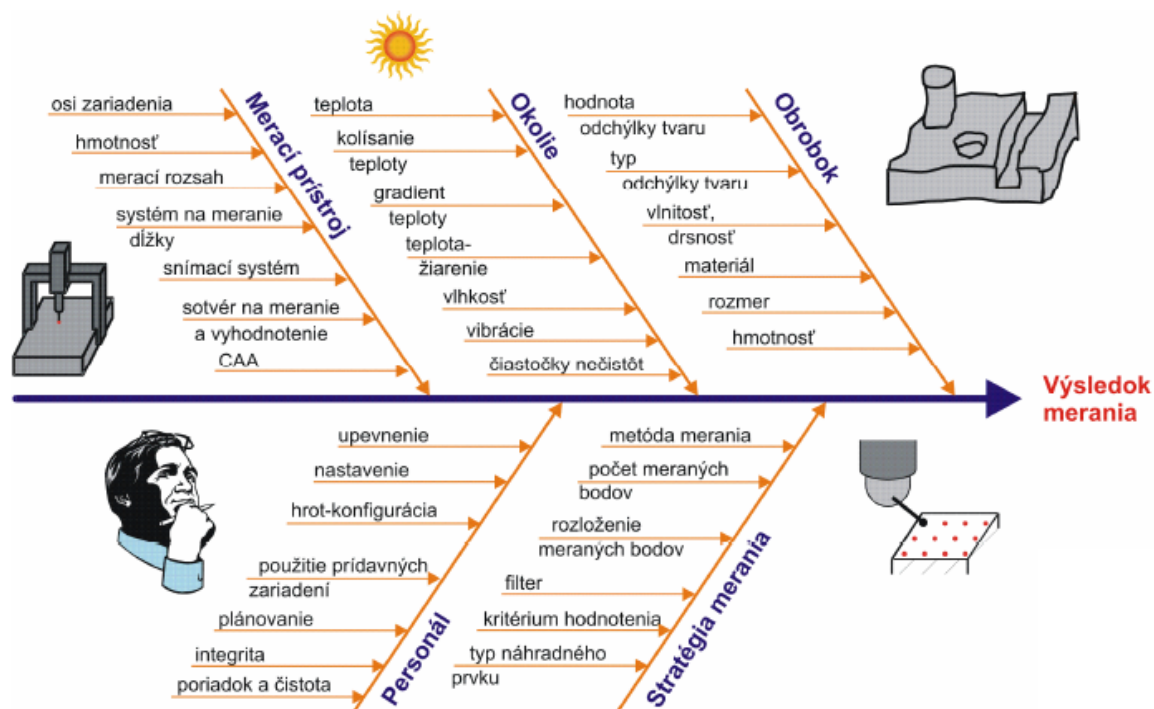
Prostorové etalony – různé tvary mají tu nevýhodu, že jejich kalibrace, při kterých je potřebná preventivní kontrola se může provádět jen na nejpřesnějších CMM a zároveň je velmi drahá a náročná.

2.3.7 Vliv chyb na výsledek měření

Faktory ovlivňující měření na CMM (obr. 70), které přispívají k nejistotě měření. Jejich jednotlivé složky můžeme rozdělit do následujících skupin:

- měřicí přístroj,
- okolí,
- obrobek (objekt měření),
- personál (obsluha měřicího stroje),
- strategie měření.

Tyto skupiny (obr. 70) způsobují různý stupeň odchylky výsledku měření od skutečné hodnoty. Vliv měřeného předmětu se nedá zveřejnit, protože do značné míry je ovlivněn způsobem výroby a také do určité míry ovlivněn od okolí.



Obr. 70 Faktory ovlivňujúci výsledok měření

Vliv měřicího přístroje – při každém měřicím zařízení se berou v úvahu jeho vnitřní nedostatky a zohledňují se při udávání přesnosti konkrétního měřicího zařízení, jako je:

- nepřesnost výroby jednotlivých funkčních elementů,
- nepřesnost montáže převodových systémů a mechanismů,
- deformace.

Tyto negativní vlivy se eliminují ověřováním a kalibrací měřicích zařízení.

Vliv okolí – Výrazný vliv na měřené rozměry má teplota, proto se většina metrologických laboratoří snaží důsledně udržovat teplotu $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Vliv objektu měření – Na výsledek měření mají vliv i některé charakteristiky měřené součásti, jako např.:

- charakteristika povrchu,
- tvrdost,
- elastická a plastická pružnost měřeného objektu.

Vliv obsluhy a strategie měření – je potřeba dodržovat zvolenou strategii měření, protože s tím souvisí i velikost nejistoty. Některé strategie měření, mohou zvyšovat, nebo snižovat nejistotu měření.

2.3.8 Chyby snímání u CMM

Výsledky měření nejsou dokonalé a vykazují chyby, je to rozdíl od jmenovitého rozměru. Tyto rozdíly jsou stanoveny na základě ověřování rozměrových a geometrických specifikací. V souladu s normou ČSN EN ISO 10360 má každá specifikace přesnosti označení MPE (Maximum Permissible Error), přičemž měřicí úloha je charakterizována indexem (např. MPE_e – největší dovolená chyba při měření rozměru).

Největší dovolená chyba při měření rozměru (MPE_E)

Ke stanovení odchytky délkových rozměrů je potřebné měřit kalibrované koncové rozměry, nebo stupňovité koncové rozměry. Je nutné stanovit 5 různých délek v 7 libovolných pozicích v měřicím rozsahu přístroje. Každá délka se měří nejméně 3krát. Takovýmto způsobem získáme hodnoty, které se porovnávají s kalibračními hodnotami, a třeba dbát, aby odchytka nepřekročila specifikaci. Specifikace v závislosti na délce se uvádí ve tvaru:

$$MPE_E = \pm \text{minimum} (A + L/K),$$

kde: A - je kladná konstanta v mikrometrech udávaná výrobcem,

K - je bezrozměrná kladná konstanta udávaná výrobcem,

L - je měřený rozměr v milimetrech.

Největší dovolená chyba snímání (MPE_P)

Ke stanovení kontaktní odchytky se měří kalibrační kulička (průměr 10 až 50 mm) se zanedbatelnou tvarovou chybou na 25 místech doporučených normou ČSN EN ISO 10360-2. Z naměřených hodnot se vypočítá Gaussova vyrovnávací kulička. Rozsah radiálních vzdáleností od kalibrační kuličky nesmí překročit specifikaci.

Největší dovolená chyba kontaktního snímání (MPE_{THP})

Ke stanovení snímané kontaktní odchytky se nasnímá kalibrační kulička s průměrem 25 mm (se zanedbatelnou tvarovou chybou) na 4 drahách stanovených normou ČSN EN ISO 10360-4. Při porovnání naměřených hodnot se specifikací $MPETHP$ musí být splněna podmínka:

Rozsah radiálních odchylek od kalibrační kuličky nesmí překročit specifikaci, která odpovídá MPE_P . Navíc, je potřeba uvést čas T potřebný k vykonání kontroly, protože rychlost měření má také výrazný vliv na výsledek měření.



Kontrolní otázka

- O 2.3.1 Co ovlivňuje přesnost měřicí sondy?
- O 2.3.2 Co je to opakovatelnost CMM?
- O 2.3.3 Co je to výkonnost CMM?
- O 2.3.4 Jaké jsou typy etalonů pro zkoušení CMM?
- O 2.3.5 Do jakých skupin dělíme zdroje chyb?
- O 2.3.6 Jak se značí chyby v souladu s normou ISO?

2.4 ZAJIŠTĚNÍ OBJEKTIVNOSTI MĚŘENÍ U PROSTOROVÝCH DÍLŮ



Čas ke studiu: 4 hodiny



Cíl Po prostudování tohoto odstavce budete umět

- Definovat přesnost měření.
- Pochopit statistické regulační diagramy.
- Popsat řízení procesů měření a způsobilost procesů měření.



Výklad

V současné době se naměřené hodnoty používají mnohem častěji a mnoha více způsoby než kdykoliv předtím. Rozvoj na trhu, s neustále rostoucími požadavky na kvalitu, neustále se zvyšující přesností výrobků, s vysokými nároky zákazníků, velkosériovou výrobou a požadavky na záruky na kvalitu stejně tak i rozvoj systému managementu kvality ve výrobních společnostech jako např. v automobilovém průmyslu podměnili rozvoj analytických technik umožňujících účelně a efektivně nasazovat měřidla do výrobních procesů.

2.4.1 Přesnost měření

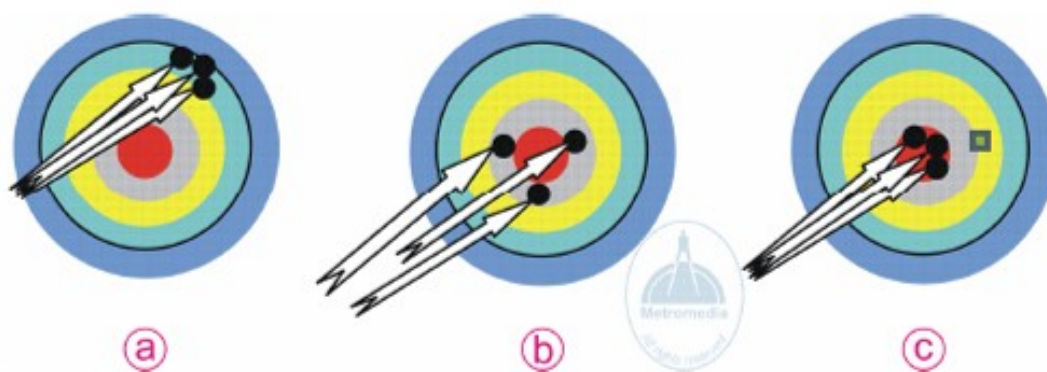
Je důležité rozlišovat mezi přesností a správností.

Pojem **přesnost** obsahuje stupeň shody s etalonem. Přesnost se vztahuje ke kvalitě výsledku a odlišuje se od správnosti, která se vztahuje ke kvalitě operace, pomocí které se dosahuje výsledku. Může se stát, že na dosažené výsledky je třeba změnit zařízení nebo postup. Tento případ nastává v případě, že se požaduje vyšší stupeň přesnosti a toho se dá dosáhnout pomocí právě používaného zařízení nebo metody.

Pojem **správnost** představuje stupeň zjevnosti při vykonávání nějaké operace nebo stupeň dokonalosti zařízení a metod, které se používají k dosažení výsledku.

Informace vztahující se k atributům správnosti mohou velmi podrobně specifikovat charakteristiky jednotlivých vlastností. Je třeba si uvědomit, že správné údaje (a nezáleží na způsobu jejich získání), mohou být nepřesné.

Řízení procesů měření a způsobilost procesů měření



Obr. 71 Rozdíl mezi správností a přesností
a) správnost, b) přesnost, c) správnost-přesnosti

2.4.2 Statistické regulační diagramy

Statistickou regulací procesu měření rozumíme jeho udržení ve statisticky zvládnutém stavu. Jen tak se zabezpečí shoda výsledků měření se specifickými požadavky na měření. Přitom předpokládáme, že chování procesu měření charakterizuje chování jedné nebo více

výstupních veličin, které se porovnávají se stanoveným kritériem. Tak se dá po každé kontrole rozhodnout, zda můžeme či nemůžeme proces považovat za stabilní.

Hlavní statistický nástroj pro řízení procesů měření představuje regulační diagram. Je to grafická metoda znázornění a porovnání informací založených na postupnosti výběrů.

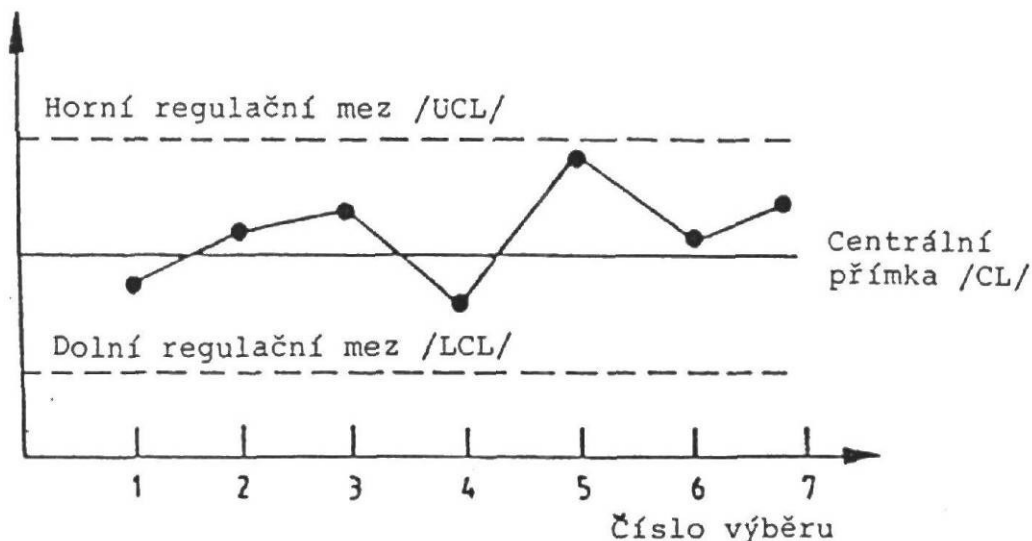
Informace představují současný stav měřicího procesu vzhledem ke hranicím, při kterých se vzala do úvahy vnitřní složka variability procesu měření. Metoda regulačních diagramů pomáhá zhodnotit, zda je proces měření ve statisticky zvládnutém stavu, tj. stabilní na specifikované úrovni a zda v tomto stavu setrvává. Pak je třeba docílit a udržet ovládnutí procesu měření tím, že se vedou plynulé záznamy o kvalitě měření v průběhu měření. Použití regulačních diagramů a jejich pozorná analýza přispívají k pochopení a zlepšení procesu měření.

Teorie regulačních diagramů vychází z rozlišení **dvou typů variability**. První typ je náhodná variabilita způsobená náhodnými příčinami. Tento typ vyvolává široký rozsah neidentifikovatelných příčin. Z nich se každá podílí malou složkou na celkové variabilitě, ale žádná z nich nepřispívá výrazně. Druhý typ variability představuje reálnou změnu v procesu měření. Takovou změnu mohou způsobit identifikovatelné příčiny, které nejsou vnitřní součástí procesu měření a dají se alespoň teoreticky odstranit.

Tyto příčiny spočívají v použití:

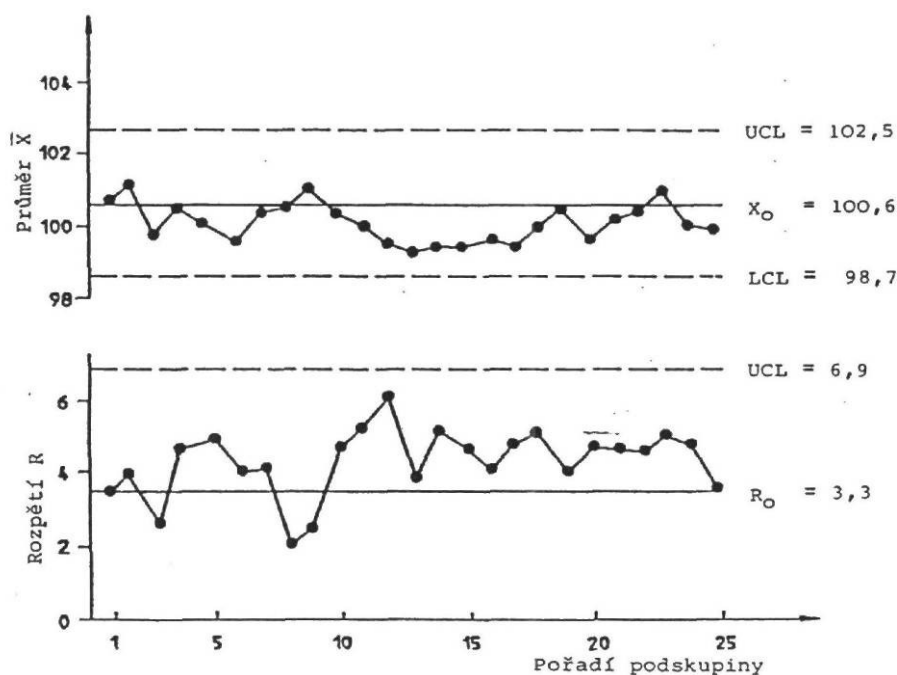
- měřicím zařízením,
- v měřicích metodách a postupech,
- v měřicích podmínkách,
- v měřicím personálu.

Regulační diagramy jako určitý grafický prostředek, který využívá statistických testů významnosti, poprvé pro řízení výrobních procesů navrhl W. Shewhart v roce 1924.



Obr. 72 Náčrtek regulačního diagramu

Shewhartovy regulační diagramy pracují s údaji získanými z měření na kontrolním etalonu v přibližně pravidelných intervalech. Takto se vytvoří podskupiny údajů. Z nich se pro každou podskupinu vypočítají určité charakteristiky, nejčastěji průměr $\bar{X}$ a rozpětí R , ty se potom zaznamenávají do regulačních diagramů. Shewhartův regulační diagram vznikne tak, že se znázorní centrální přímk (CL). Je rovnoběžná s osou x ve vzdálenosti referenční hodnoty znázorňované charakteristiky ($\bar{X}$ nebo R).



Obr. 73 Regulační diagramy pro průměr a napětí

Hranice regulačního diagramu, tzv. regulační meze jsou vzdálené od centrální přímky o hodnotu 3σ na každou stranu, kde σ je směrodatná odchylka sledované charakteristiky ($\bar{X}$ nebo R). Koeficient 3 vychází z předpokladu normálního rozdělení pravděpodobností naměřených hodnot na kontrolním etalonu. Představuje situaci, že uvnitř regulačních hranic bude 99,73 % hodnot sledované charakteristiky. Někdy je užitečné zakreslit do diagramu i varovné meze 2σ a meze 1σ . Pro normální rozdělení meze $\pm 1\sigma$ představují pravděpodobnost přibližně 68 %, že hodnota sledované charakteristiky bude uvnitř těchto mezí. Meze $\pm 2\sigma$ představují pravděpodobnost 95 %.

Při regulaci měřicího procesu se referenční hodnota obvykle rovná:

- Hodnotě uvedené ve specifikaci (pro $\bar{X}$ je to nominální hodnota kontrolního etalonu, pro R to jsou předpokládané charakteristiky konkrétního měřicího procesu).
- Hodnotě stanovené z údajů získaných dříve na základě dlouhodobého sledování.

Regulační meze se nazývají:

- dolní regulační mez (LCL – Lower Control Limit),
- horní regulační mez (UCL – Upper Control Limit).

Při sledování procesu měření je třeba sledovat nejen hodnotu měřené veličiny, ale také variabilitu naměřených údajů v požadovaných hranicích. Toho lze dosáhnout současným použitím regulačních diagramů aritmetických průměrů $\bar{x}$ a variačních rozpětí R .

Variační rozpětí je pro měřené hodnoty X_i rozdíl mezi maximální X_{max} a minimální X_{min} měřenou hodnotou: $R = X_{max} - X_{min}$.

2.4.3 Řízení procesů měření a způsobilost procesů měření

Použití statistických regulačních diagramů zabezpečuje vyslání signálu v případě, že působí nějaké nepříznivé vlivy. Systematickým odstraňováním příčin těchto nepříznivých vlivů, jejich analýzou a nápravnými opatřeními se dá docílit, že měřicí proces bude ve statisticky zvládnutém stavu. Když je proces ve statisticky zvládnutém stavu, jeho chování se dá

předvídat a lze posoudit jeho způsobilost plnit požadavky, které se na něj kladou. Posuzování způsobilosti měřicího procesu je vhodné zejména ve výrobních organizacích.

Způsobilost procesu měření určuje celkové kolísání, které vyvolávají náhodné příčiny působící na proces měření. Kolísání způsobuje proměnlivost hodnot měřené veličiny, které nesouvisí s podmínkami měření a je třeba je vyloučit.

Toho se dá docílit pomocí kontrolních etalonů, na kterých se realizuje kontrolní měření. Dříve než lze přistoupit k posuzování způsobilosti měření, musí se proces dostat do statisticky zvládnutého stavu. Pak se vyšetří jeho způsobilost.

Je-li proces způsobilý, regulací se dále v tomto stavu udržuje. Není-li způsobilý (a přitom je podle předpokladu ve statisticky zvládnutém stavu), musí se přijmout příslušná opatření na nápravu a celý cyklus se musí zopakovat. Cílem statistické regulace je udržovat proces v daném stavu a posouzení způsobilosti dává odpověď na otázku, zda je měřicí proces, který je ve statisticky zvládnutém stavu, způsobilý plnit funkce, pro který je určený.

Při hodnocení způsobilosti procesu měření se posuzuje, zda výsledky měření vyhovují z pohledu požadovaných nejistot měření.

Požadavky na měřicí proces se nejčastěji zadávají hranicemi maximální dovolené chyby d_{dov} nebo rozšířenou nejistotou U . Od procesu měření se požaduje, aby se naměřené hodnoty nelišily od skutečné hodnoty měřené veličiny více než o maximální dovolenou chybu (rozšířenou nejistotu). Kromě toho máme též definovanou nominální hodnotu, kterou známe s určitou nejistotou.

Při hodnocení způsobilosti procesu měření nás zajímá variabilita naměřených hodnot, způsobená procesem měření i systematická odchylka od skutečné hodnoty měřené veličiny. Ty se dají zjistit na základě měření na kontrolním etalonu.

Mírami způsobilosti procesu měření jsou indexy způsobilosti C_P a C_{PK} . Jedná se o způsobilost procesu, nikoliv o způsobilost měřidla.

C_P – Process Capability.

C_{PK} – Process Capability Index.

Postup hodnocení způsobilosti

1. Formou maximální dovolené chyby nebo rozšířené nejistoty se stanoví požadavky na měřicí proces. Tyto požadavky vycházejí z požadavků na hodnoty měřené veličiny výrobního procesu. Např. je-li dané toleranční pásmo T pro výrobek, který měříme. Měřicí proces by měl zabezpečovat výsledky s rozšířenou nejistotou 3 až 10 krát menší než je polovina tolerančního pásma. Všeobecně máme-li stanovené požadavky formou horní mezní hodnoty UTL a dolní mezní hodnoty LTL , definujeme hodnotu $T = UTL - LTL$, přičemž:

$$U = \frac{T}{2k}$$

kde $k = (3 \text{ až } 10)$

UTL je USL – Upper Specification Limit

LTL je LSL – Lower Specification Limit

Naměřené hodnoty výrobku měřicím procesem s rozšířenou nejistotou U musí být proto ale o hodnotu U menší než UTL a o hodnotu U větší než LTL . Proto je snaha volit k co největší a tím i U co nejmenší. Druhým hlediskem je cena měřicího zařízení a nároky na měření. Proto je třeba udělat určitý kompromis.

2. Sebereme údaje alespoň z $N = 25$ podskupin po m ($m = 2$ až 25) hodnotách z úseku, kde je měřicí proces ve statisticky zvládnutém stavu. Nejsou-li takové údaje k dispozici, provede se $N \cdot m$ měření na kontrolním etalonu: Takto získáme N souborů po m hodnotách, ze kterých se dají vypočítat hodnoty aritmetického průměru a směrodatné odchylky s .
3. Vypočítáme indexy způsobilosti C_P a C_{PK} . Index způsobilosti C_P :

$$C_P = \frac{2U}{6s} = \frac{U}{3s}$$

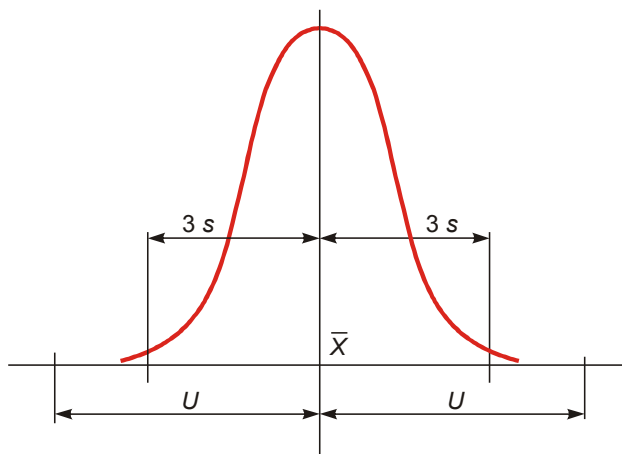
Index způsobilosti nabývá kladných hodnot.

Je-li hodnota $C_P < 1$, měřicí proces není způsobilý. Pro $C_P > 1$ můžeme mluvit o způsobilosti měřicího procesu plnit úkoly, pro které byl určený.

V praxi se dá za minimální přípustnou hodnotu považovat $C_P = 1,33$, protože vždy existuje určité kolísání a měřicí proces není nikdy v dokonale statisticky zvládnutém stavu.

Hranici 1,33 je třeba uvažovat spíše pro zaběhnutý měřicí proces. Pro nově zaváděný měřicí proces jsou přípustné hodnoty indexu způsobilosti větší (např. 1,50). Index C_P má jednu nevýhodu. Nic neříká o systematické odchylce procesu měření od nominální hodnoty daného etalonu.

$$C_P = \frac{U}{3s} > 1,33$$



Obr. 74 Grafické zobrazení výpočtu indexu C_P

Pro posouzení vlivu systematické chyby se mohou použít další indexy, jedním z nich je index způsobilosti C_{PK} .

Index způsobilosti C_{PK} :

$$C_{PK} = \min \left(\frac{X_0 + U - \bar{X}}{3s}, \frac{\bar{X} - (X_0 - U)}{3s} \right)$$

kde: X_0 nominální hodnota etalonu,

U stanovený požadavek na rozšířenou nejistotu procesu měření.

Označíme-li:

$$X_0 - \bar{X} = \Delta$$

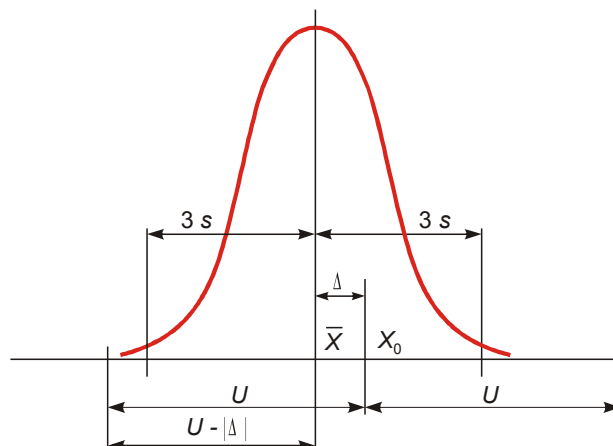
$$C_{PK} = \frac{U - \Delta}{3s}$$

pak

Index způsobilosti nabývá kladných hodnot.

Pro způsobilý měřicí proces má být C_{PK} nejméně 1,33. To je pro zaběhnutý proces. Pro nově zaváděný proces je to opět 1,50.

$$C_{PK} = \frac{U - \Delta}{3s} > ,33$$



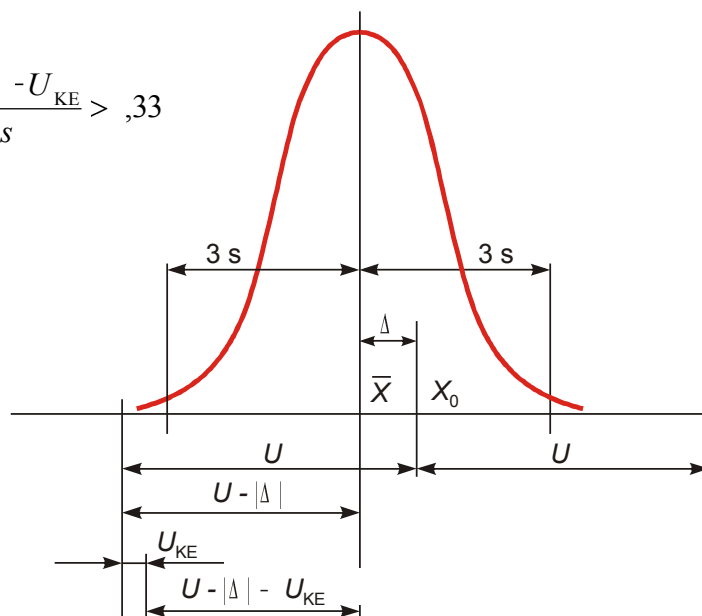
Obr. 75 Grafické zobrazení výpočtu indexu C_{PK} pro

V případě, že nejistota kontrolního etalonu U_{KE} není dostatečně malá proti požadované nejistotě měřicího procesu U , musí se to zohlednit při výpočtu indexu způsobilosti.

Potom bude:

$$C_{PK} = \frac{U - \Delta - U_{KE}}{3s}$$

$$C_{PK} = \frac{U - \Delta - U_{KE}}{3s} > ,33$$



Obr. 76 Grafické zobrazení výpočtu indexu C_{PK} při nedostatečně požadované nejistotě

Důsledky hodnocení způsobilosti měření

Z původního výrazu pro C_{PK} se dá určit maximálně možná odchylka Δ hodnoty X_0 od $\bar{X}$ má-li být $C_{PK} > 1,33$.

$$|\Delta| = |\bar{X} - X_0| < 1 - ,33 \cdot 3s = 1 - ,99s \cong 1 - s$$

Uvažujeme-li i nejistotu kontrolního etalonu U_{KE} , pak maximálně možná odchylka Δ hodnoty X_0 od $\bar{X}$ bude:

$$|\Delta| = |\bar{X} - X_0| < 1 - 33 \cdot s - I_{KE} = 1 - 99s - I_{KE} \cong 1 - s - I_{KE}$$

A za předpokladu $C_{PK} > 1,33$, musí pro nejistotu kontrolního etalonu platit:

$$U_{KE} < U - \Delta - s$$

Řízením procesu měření můžeme zajistit správnost měření. Dodržováním doporučených indexů způsobilosti zajišťujeme ještě určitou rezervu, aby bylo měření správné i v nepříznivých situacích.



Kontrolní otázky

- O 2.4.1 Co je to přesnost měření?
- O 2.4.2 Čím je způsobena náhodná variabilita při určování regulačních diagramů?
- O 2.4.3 Co způsobuje použití statistických regulačních diagramů?



Použité a další zdroje

- [1] TNI 01 0115 MEZINÁRODNÍ METROLOGICKÝ SLOVNÍK – ZÁKLADNÍ A VŠEOBECNÉ POJMY A PŘIDRUŽENÉ TERMÍNY (VIM).
- [2] ZÁKON 505/1990 SB. – O METROLOGII. 1990.
- [3] ZÁKON 119/2000 SB. – O METROLOGII. 2000.
- [4] ČMI. BRNO. ZÁKLADNÍ PRVKY NÁRODNÍHO METROLOGICKÉHO SYSTÉMU ČR A MEZINÁRODNÍ METROLOGICKÁ SPOLUPRÁCE. 2007. 43 STRAN.
- [5] ČMI. BRNO. PODKLADY ZÍSKANÉ NA ŠKOLENÍ.
- [6] PALENČÁR, R., HALAJ, M.: METROLOGICKÉ ZABEZPEČENIE SYSTÉMOV RIADENIA KVALITY, STU BRATISLAVA. 1998.
- [7] TICHÁ, ŠÁRKA. STROJÍRENSKÁ METROLOGIE : ČÁST 1. OSTRAVA. VŠB – TU OSTRAVA, 2004. ISBN 80-248-0672-X.
- [8] TICHÁ, ŠÁRKA. STROJÍRENSKÁ METROLOGIE : ČÁST 2 ZÁKLADY ŘÍZENÍ JAKOSTI. OSTRAVA. VŠB – TU OSTRAVA, 2006. ISBN 80-248-1209-6.
- [9] ZÁKLADNÍ JEDNOTKY SI SOUSTAVY [ONLINE] [CIT. 2011-08-11] DOSTUPNÝ NA WWW [HTTP://WWW.CONVERTER.CZ/JEDNOTKY.HTM](http://www.converter.cz/jednotky.htm).
- [10] OSANNA, P. PŘESNOST MĚŘENÍ A NEJISTOTY MĚŘENÍ.

- [11] DOVICA MIROSLAV A KOLEKTÍV.: METROLÓGIA V STROJÁRSTVE, 2006. KOŠICE : EDÍCIA VEDECKEJ A ODBORNEJ LITERATÚRY - STROJNÍCKA FAKULTA TU V KOŠICIACH, 351 s. ISBN 80-8073-407-0.
- [12] KUREKOVA, E., GABKO, P., HALAJ, M.: TECHNICKE MERANIE - ZVAZOK II, ING. PETER JURIGA - GRAFICKE ŠTUDIO, BRATISLAVA 1. VYDANIE, 2005 , ISBN 80-89112-04-8, MODUL M28 STR.649-657.
- [13] KUREKOVA, E., GABKO, P., HALAJ, M.: TECHNICKE MERANIE - ZVAZOK II, ING. PETER JURIGA - GRAFICKE ŠTUDIO, BRATISLAVA 1. VYDANIE, 2005 , ISBN 80-89112-04-8, MODUL M28 STR.649-657.
- [14] KOMPLETNI ŘEŠENÍ PŘIMO OD RENISHAW, DOSTUPNY NA INTERNETE: [HTTP://WWW.RENISHAW.COM/EN/RENISHAW-RETROFIT--10487](http://www.renishaw.com/en/renishaw-retrofit--10487).
- [15] DRBÚL, MÁRIO. NÁVRH METODIKY AUTOMATIZOVANÉHO SPRACOVANIA A VYHODNOTENIA 3D MERANÍ VAUTOMATIZOVANEJ VÝROBE : DOKTORSKÁ DISERTAČNÍ PRÁCE, 2009. ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINĚ. 81 s.
- [16] CHUDÍ V., PALENČÁR R., KUREKOVÁ E., HALAJ M.: MERANIE TECHNICKÝCH VELIČÍN.VYDAVATEĽSTVO STU, 1. VYDANIE, 1999, ISBN 80-227-1275-2, STR. 607 – 611.
- [17] [HTTP://WWW.KAM.SJF.STUBA.SK/KATEDRA/PUBLIKACIE/EDUTRAC/MTV/UCEBNICA/DLZKA/DLZKA9.PDF](http://www.kam.sjf.stuba.sk/katedra/publikacie/edutrak/mtv/ucebnica/dlзка/dlзка9.pdf) .
- [18] CHUDÍ V., PALENČÁR R., KUREKOVÁ E., HALAJ M.: MERANIE TECHNICKÝCH VELIČÍN.VYDAVATEĽSTVO STU, 1. VYDANIE, 1999, ISBN 80-227-1275-2, STR. 607 – 611.
- [19] MITUTOYO, SOUŘADNICOVE MĚŘICI STROJE, DOSTUPNY NA INTERNETE: URL[HTTP://WWW.MITUTOYO.CZ](http://www.mitutoyo.cz).
- [20] PRIMA BILAVČIK, SOUŘADNICOVE STROJE, DOSTUPNY NA INTERNETE: [HTTP://WWW.MERICIPRISTROJE. CZ/SOURADNICOVE.PHP?TXT=324&LG=CZ](http://www.mericipristroje.cz/souradnicove.php?txt=324&lg=CZ).
- [21] KUREKOVÁ, E., GABKO, P., HALAJ, M.: TECHNICKÉ MERANIE - ZVÁZOK II, ING. PETER JURIGA - GRAFICKÉ ŠTÚDIO, BRATISLAVA 1. VYDANIE, 2005 , ISBN 80-89112-04-8, MODUL M12 STR.367-371.
- [22] PERNIKÁŘ J., TYKAL M., VAČKÁŘ J.: JAKOST A METROLOGIE, ČÁST METROLOGIE, CERM BRNO, 2004.
- [23] [HTTP://WWW.MMSPEKTRUM.COM/CLANEK/POUZITI-LINEARNICH-INDUKTIVNICH-MERITEK-NA-STROJICH.HTML](http://www.mmspektrum.com/clanek/pouziti-linearnich-induktivnich-meritek-na-strojich.html).
- [24] Kolektiv autorů. TECHNICKÉ MERANIE ZVÁZOK II, MODUL 12 – MERANIE DÍŽKY, POLOHY, ROZMERU (NUMAN M. DURAKBASA, ALI AFJEHI-SADAT, P. HERBERT OSANNA). UČEBNÍ TEXTY PROJEKTU METROMEDIA-ONLINE : VÍDEŇ, 2005. ISBN 80-89112-04-8.
- [25] [HTTP://WWW.KVS.SJF.STUBA.SK/ZPAP.PDF](http://www.kvs.sjf.stuba.sk/ZPAP.PDF).
- [26] [HTTP://WWW.SJF.TUKE.SK/KVTAR/2/FILES/INKREMENTALY.PDF](http://www.sjf.tuke.sk/kvtar/2/files/inkrementaly.pdf).
- [27] [[HTTP://WWW.ZEISS.DE/C12571AF002C60A4/CONTENTSFRAME/22B15A1AF503907BC12578BF00729EFA](http://www.zeiss.de/C12571AF002C60A4/CONTENTSFRAME/22B15A1AF503907BC12578BF00729EFA)]
- [28] [HTTP://WWW.ZEISS.DE/C12571AF002C60A4/CONTENTSFRAME/22B15A1AF503907BC12578BF00729EFA](http://www.zeiss.de/C12571AF002C60A4/CONTENTSFRAME/22B15A1AF503907BC12578BF00729EFA).
- [29] [HTTP://WWW.ZEISS.DE/C12568E80026F83C/EMBEDTITELINTERN/SPECTRUMINFORMATIONEN/ANGLAIS/\\$FILE/SPECTRUM_BROCHURE_E.PDF](http://www.zeiss.de/C12568E80026F83C/EMBEDTITELINTERN/SPECTRUMINFORMATIONEN/ANGLAIS/$FILE/SPECTRUM_BROCHURE_E.PDF).
- [30] [HTTP://WWW.KAM.SJF.STUBA.SK/KATEDRA/PUBLIKACIE/EDUTRAC/MTV/UCEBNICA/DLZKA/DLZKA9.PDF](http://www.kam.sjf.stuba.sk/katedra/publikacie/edutrak/mtv/ucebnica/dlзка/dlзка9.pdf).
- [31] MULTISENSOR METROLOGY WITH X-RAY COMPUTED TOMOGRAPHY, 2006. [ONLINE].

- [32] [HTTP://WWW.CMMQUARTERLY.COM/SITE/INDEX.PHP?OPTION=COM_CONTENT&TASK=VIEW
&ID=78&ITEMID=71](http://www.cmmquarterly.com/site/index.php?option=com_content&task=view&id=78&Itemid=71).
- [33] [HTTP://WEB.TUKE.SK/SMETROLOGIA/NAVODY/ULOHA07.PDF](http://web.tuke.sk/smetrologia/navody/uloha07.pdf).
- [34] SKALNÍK P., ZELENÝ V.: NOVÝ MULTISENZOROVÝ SÚRADNICOVÝ MERACÍ STROJ, DOSTUPNÝ NA INTERNETE: [HTTP://WWW.MERICI-PRISTROJE.CZ](http://www.merici-pristroje.cz).
- [35] [HTTP://WEB.TUKE.SK/SMETROLOGIA/NAVODY/ULOHA07.PDF](http://web.tuke.sk/smetrologia/navody/uloha07.pdf).
- [36] [HTTP://WWW.KVS.TUL.CZ/DOWNLOAD/RAPID_PROTOTYPING/RP1_SKRIPTA.PDF](http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp1_skripta.pdf).
- [37] [HTTP://TECHNOLOGIE.FS.CVUT.CZ:8080/METROLOGIE/PODKLADY-PMTR/01-PREDNASKA-
PMTR-SOURADNICOVE-MERICI-STROJE.PPT/VIEW](http://technologie.fs.cvut.cz:8080/metrologie/podklady-pmtr/01-prednaska-pmtr-souradnicove-merici-stroje.ppt/view)
- [38] MACHAČEK, P.: SOUŘADNICOVE MĚŘICÍ STROJE, DOSTUPNÝ NA INTERNETE: [HTTP://TECHNOLOGIE.FS.CVUT.CZ:8080/METROLOGIE/PODKLADY-PMTR/01-PREDNASKA-
PMTR-SOURADNICOVE-MERICI-STROJE.PPT/VIEW](http://technologie.fs.cvut.cz:8080/metrologie/podklady-pmtr/01-prednaska-pmtr-souradnicove-merici-stroje.ppt/view).
- [39] CHRISTOPH, R., NEUMANN, H.J., MULTISENZOROVÁ SOUŘADNICOVÁ MĚŘICÍ TECHNIKA; PUBLIKOVÁNO FIRMOU PRIMA BILAVČÍK, S.R.O.; L.V.PRINT, UHERSKÉ HRADIŠTĚ, 2008, 106 s.
- [40] [HTTP://SIENKOPRECISION.COM/SPECIFICATIONS.PDF](http://sienkoprecision.com/specifications.pdf).
- [41] ČSN 01 0115 MEZINÁRODNÍ SLOVNÍK ZÁKLADNÍCH A VŠEOBECNÝCH TERMÍNŮ V METROLOGII (OPIS NORMY KE STUDIJNÍM ÚČELŮM).
- [42] PAVELKA, K., HODAČ, J. FOTOGRAMMETRIE 3. 1 VYD. PRAHA: ČESKÁ TECHNIKA – NAKLADATELSTVÍ ČVUT, 2008. 187 s. ISBN 978-80-01-03978-6.
- [43] PAVELKA, K., HODAČ, J. FOTOGRAMMETRIE 3. 1 VYD. PRAHA: ČESKÁ TECHNIKA – NAKLADATELSTVÍ ČVUT, 2008. 187 s. ISBN 978-80-01-03978-6.
- [44] [HTTP://ROBO.HYPERLINK.CZ/3DSKENERY/MAIN03.HTML](http://robo.hyperlink.cz/3dskenery/main03.html).
- [45] TIŠNOVSKÝ, P. BEZKONTAKTNÍ DIGITALIZACE PŘEDMĚTŮ POMOCÍ 3D SCANNERU MINOLTA VIVID VI-700. [ONLINE].
- [46] [HTTP://WWW.ELEKTROREVUE.CZ/CLANKY/03013/KAP_2.HTM](http://www.elektrorevue.cz/clanky/03013/kap_2.htm).
- [47] [ILONA, K., KAREL, H.: OPTICKÉ METODY MĚŘENÍ 3D OBJEKTŮ. ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY, VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ, 2005/23, 14.04.2005 [ONLINE]. [HTTP://WWW.ELEKTROREVUE.CZ/CLANKY/05023/INDEX.HTML#KAP4](http://www.elektrorevue.cz/clanky/05023/index.html#kap4).
- [48] BERALDIN, J-ANGELO, ET AL. ACTIVE 3D SENSING. IN MODELLI E METODI PER LO STUDIO E LA CONSERVAZIONE DELL'ARCHITETTURA STORICA. PISA : UNIVERSITY: SCOLA NORMALE SUPERIORE, 2000. S. 22-46. DOSTUPNÝ Z WWW: [HTTP://WWW1.CS.COLUMBIA.EDU/~ALLEN/PHOTOPAPERS/BERALDIN.PDF](http://www1.cs.columbia.edu/~allen/photopapers/beraldin.pdf).
- [49] ROBINSON S., CORNES O. A KOL.: C# PROGRAMUJEME PROFESIONÁLNĚ. 1. VYD. PRAHA, COMPUTER PRESS 2003., ISBN 80-251-0085-5.
- [50] [HTTP://WWW.ELEKTROREVUE.CZ/CLANKY/03013/KAP_2.HTM](http://www.elektrorevue.cz/clanky/03013/kap_2.htm)
- [51] NAVRÁTIL, ROBERT. 3D SKENERY [ONLINE]. c2000, [HTTP://ROBO.HYPERLINK.CZ/3DSKENERY/INDEX.HTML](http://robo.hyperlink.cz/3dskenery/index.html).
- [52] MCAE SYSTEMS. TRITOP CONFIGURATION - MCAE SYSTEMS [ONLINE]. c2007.
- [53] TIŠNOVSKÝ, P. BEZKONTAKTNÍ DIGITALIZACE PŘEDMĚTŮ POMOCÍ 3D SCANNERU MINOLTA VIVID VI-700. [ONLINE]. c2002. [HTTP://WWW.ELEKTROREVUE.CZ/CLANKY/03013/KAP_2.HTM](http://www.elektrorevue.cz/clanky/03013/kap_2.htm).

- [54] SKOUPÝ, P. 3D OPTICKÉ MĚŘÍCÍ A SKENOVACÍ SYSTÉMY PRO STROJÍRENSTVÍ.[CD-ROM], BRNO: VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ, 2007. 64 s. VEDOUcí BAKALÁŘSKÉ PRÁCE ING. DAVID PALOUŠEK.
- [55] PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING. RECORDING AND MODELING OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS WITH CODED STRUCTURED LIGHT PROJECTION SYSTEMS. C2006, [HTTP://WWW.PHOTOGRAMMETRY.ETHZ.CH/GENERAL/PERSONS/DEVIM/2006IT_AKCA_ETAL_ROME06.PDF](http://www.photogrammetry.ethz.ch/general/persons/devrim/2006IT_AKCA_ETAL_ROME06.PDF)
- [56] [HTTP://ROBO.HYPERLINK.CZ/3DSKENERY/MAIN05.HTML](http://robo.hyperlink.cz/3DSKENERY/MAIN05.HTML).
- [57] [HTTP://WWW.GOM.COM/METROLOGY-SYSTEMS/LARGE-SCALE-CMM.HTM](http://www.gom.com/metrology-systems/large-scale-cmm.htm)
- [58] [HTTP://WWW.VUTBR.CZ/STUDIUM/ZAVRECNE-PRACE?ZP_ID=26433](http://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=26433)
- [59] [HTTP://WWW.VUTBR.CZ/WWW_BASE/ZAV_PRACE_SOUBOR_VEREJNE.PHP?FILE_ID=30614](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30614)
- [60] <[HTTP://ROBO.HYPERLINK.CZ/3DSKENERY/INDEX.HTML](http://robo.hyperlink.cz/3DSKENERY/INDEX.HTML)>.
- [61] MCAE SYSTEMS. TRITOP CONFIGURATION - MCAE SYSTEMS [ONLINE]. C2007, [HTTP://WWW.MCAE.CZ/KATALOG.PHP?LANG=CS&ID=167](http://www.mcae.cz/katalog.php?lang=cs&id=167).
- [62] [HTTP://WWW.VUTBR.CZ/WWW_BASE/ZAV_PRACE_SOUBOR_VEREJNE.PHP?FILE_ID=30614](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30614)
- [63] NEUMANN, H.J.,CHRISTOPH,R. MULTISENZOROVÁ SOUŘADNICOVÁ MĚŘÍCÍ TECHNIKA. 4 PŘEPRACOVANÉ A ROZŠÍŘENÉ VYDÁNÍ. UHERSKÉ HRADIŠTĚ:L.V.PRINT, 2008. 108 s.
- [64] [HTTP://GREENROCK.TYM.CZ/VIVID.HTM](http://greenrock.tym.cz/vivid.htm).
- [65] HANDYSCAN 3D. TECHNICKÉ INFORMACE [ONLINE]. C2002, [HTTP://WWW.HANDYSCAN.CZ](http://www.handyscan.cz).
- [66] SMART TECHNOLOGIES. POPIS PROCESU DIGITALIZACE [ONLINE]. C2009, [HTTP://WWW.SMART-TECH.CZ/CZ/DIGITALIZACE/](http://www.smart-tech.cz/cz/digitalizace/).
- [67] TYKAL: SOUČASNÝ STAV V OBLASTI NÁVAZNOSTI SOUŘADNICOVÝCH MĚŘICÍCH STROJŮ V SYSTÉMECH KVALITY, BRNO, 2007.
- [68] [HTTP://WWW.RENISHAW.CZ/CS/MOTORICKE-A-AUTOMATICKE-SNIMACI-HLAVICE--6655](http://www.renishaw.cz/cs/motoricke-a-automaticke-snimaci-hlavice--6655)
- [69] HIGH-SPEED-SCANNING PROBES, 2011. [ONLINE]. 2011, [CIT. 2011-04-26]. DOSTUPNÉ NA INTERNETE: [HTTP://WWW.LEITZ-METROLOGY.COM/LSP-X3_552.HTM](http://www.leitz-metrology.com/lsp-x3_552.htm).
- [70] DOTEKY A PŘÍSLUŠENSTVÍ, 2007. [ONLINE]. 2007, DOSTUPNÉ NA INTERNETE: [HTTP://RESOURCES.RENISHAW.COM/CS/DETAILS/TECHNICK%C3%A9+PARAMETRY%3A+DOTEKY+A+P%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD%2818153%29](http://resources.renishaw.com/cs/details/technick%C3%A9+parametry%3A+DOTEKY+A+P%C5%99%C3%ADslu%C5%A1enstv%C3%AD%2818153%29).
- [71] RENISHAW APPLY INOVATION. [ONLINE]. 2010 [CIT. 2010-03-29]. DOSTUPNÝ Z WWW: [WWW.RENISHAW.CZ](http://www.renishaw.cz).
- [72] PRECISION STYL, 2009. [ONLINE]. 2009, [CIT. 2011-02-09]. DOSTUPNÉ NA INTERNETE: [HTTP://WWW.RENISHAW.CZ/CS/NA-SPICCE-PRUVODCE-PRO-VYBER-DOTEKU-PRO-SOURADNICOVYMERICI-STROJ--10927](http://www.renishaw.cz/cs/na-spice-pruvodce-pro-vyber-doteku-pro-souradnicovymerici-stroj--10927).
- [73] [HTTP://WWW.RENISHAW.CZ/CS/TYPY-DOTEKU--6627](http://www.renishaw.cz/cs/typy-doteku--6627)
- [74] MACHÁČEK P.: SÚRADNICOVÉ MĚŘÍCÍ STROJE, 2010. [ONLINE]. 2010, [CIT. 2011-02-05]. DOSTUPNÉ NA INTERNETE: [HTTP://WWW.GOOGLE.SK/URL?SA=T&SOURCE=WEB&CD=1&VED=0CBsQFJAA&URL=HTTP%3A%2F%2Fu12134.FS.CVUT.CZ%2FPODKLADY%2FPMTR%2F01_PREDNASKA_PMTR_SOURADNICOVE_MERICI_STROJE.PPS&RCT=J&Q=Nov%C3%A9%20SM%C4%9BRY%20V%C4%9BROJE%20ADRENSK%C3%A9%20METROLOGII&EI=7HXFTEE MJ8BP0CJDwKII&USQ=AFQJCN GWMKAZVO0BG81TCZEY7HSMHrFMG&CAD=RJA](http://www.google.sk/url?sa=t&source=web&cd=1&ved=0CBsQFJAA&url=http%3A%2F%2Fu12134.fs.cvut.cz%2Fpodklady%2FPMTR%2F01_PREDNASKA_PMTR_SOURADNICOVE_MERICI_STROJE.pps&rct=j&q=Nov%C3%A9%20SM%C4%9BRY%20V%C4%9BROJE%20ADRENSK%C3%A9%20METROLOGII&ei=7HXFTEE MJ8BP0CJDwKII&usq=AFQJCN GWMKAZVO0BG81TCZEY7HSMHrFMG&cad=RJA).
- [75] TUREK, S.: NEISTOTA MERANIA, 2008, PREDNÁŠKA PRE 3. ROČNÍK BAKALÁRSKEHO ŠTÚDIA NA SJF ŽILINSKEJ UNIVERZITY.

- [76] [HTTP://ENCYKLOPEDIE.VSEVED.CZ/INDUKTOSYN](http://encyklopedie.vseved.cz/induktosyn)
- [77] ŠIMONÍK, M. DIGITALIZACE - JEJÍ PRINCIP A ROZDELENÍ. MM PRUMYSLOVÉ SPEKTRUM [ONLINE]. 2004, [HTTP://WWW.MMSPEKTRUM.COM/CLANEK/DIGITALIZACE-JEJI-PRINCIP-A-ROZDELENÍ](http://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-jeji-princip-a-rozdeleni).
- [78] WIKIPEDIA. 3D SCANNER. [ONLINE]. 2008, [HTTP://EN.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/3D_SCANNER](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner).
- [79] DÚBRAVČÍK, M. PROSTRIEDKY DIGITALIZÁCIE. [ONLINE]. 2005, <[HTTP://64.233.183.104/SEARCH?Q=CACHE:976LgTWDBAIJ:WEB.TUKE.SK/SJFICAV/STRANKY/TRANSFER/8-2005/PDF/52-54.PDF+PROSTRIEDKY+DIGITALIZ%C3%A1CIE&HL=CS&CT=CLNK&CD=1&GL=SK](http://64.233.183.104/search?q=cache:976LgTWDBAIJ:web.tuke.sk/sjficav/stranky/transfer/8-2005/pdf/52-54.pdf+prostriedky+digitaliz%C3%A1cie&hl=cs&ct=clnk&cd=1&gl=sk)>.
- [80] CGI. CROSS-SECTIONAL SCANNING. [ONLINE]. 2006 [CIT. 2008-04-22]. <[HTTP://WWW.CGIINSPECTION.COM/CSS_PROCESS.CFM](http://www.cgiinspection.com/css_process.cfm)>.
- [81] GOM-MEASURING SYSTEMS. CONTACT EUROPE. [ONLINE]. <[HTTP://WWW.GOM.COM/EN/COMPANY/CONTACT/EUROPE.HTML](http://www.gom.com/en/company/contact/europe.html)>.
- [82] KONICA MINOLTA. 3D DIGITIZERS : NON – CONTACT 3D LASER SCANNER. [ONLINE]. 2004 [HTTP://WWW.MINOLTA3D.COM/PRODUCTS/MAIN-EN.ASP](http://www.minolta3d.com/products/main-en.asp).
- [83] KALOVÁ, I., HORÁK, K. OPTICKÉ METODY MĚŘENÍ 3D OBJEKTU. ELEKTROREVUE [ONLINE]. 2005 [CIT. 2008-04-26]. <[HTTP://WWW.ELEKTROREVUE.CZ/CLANKY/](http://www.elektrorevue.cz/clanky/)>.
- [84] NÄSLUND, A. ROBUST AUTOMATED DEBURRING. [ONLINE]. 2007 [CIT. 2008-04-24]. <[HTTP://EPUBL.LUTH.SE/1402-1617/2007/051/LTU-EX-07051-SE.PDF](http://epubl.luth.se/1402-1617/2007/051/LTU-EX-07051-SE.pdf)>. ISSN 1402-1617.
- [85] CGI, CAPTURE GEOMETRIC INTERNALLY, DOKUMENT DOSTUPNÝ NA URL: [HTTP://WWW.CGIINSPECTION.COM/PRODUCTS_CSS-3000.CFM](http://www.cgiinspection.com/products_css-3000.cfm)
- [86] CORTECH SOLUTIONS, DOKUMENT DOSTUPNÝ NA URL: [HTTP://CORTECHSOLUTIONS.COM](http://cortechsolutions.com)
- [87] QUALITY DIGEST MAGAZINE. LASER TRACKERS: A NEW BREED OF CMM [ONLINE]. c1998, [CIT. 2009-04-24]. [HTTP://WWW.QUALITYDIGEST.COM/FEB98/HTML/LASERTRK.HTML](http://www.qualitydigest.com/FEB98/html/lasertrk.html)
- [88] OPTICAL METROLOGY CENTRE. OMC TECHNICAL BRIEF – LASER TRACKER [ONLINE]. c2001, [HTTP://WWW.OPTICAL-METROLOGY-CENTRE.COM/ DOWNLOADS/ TECH_BRIEFS/ TECHBRIEF_LASERTRACKER.PDF](http://www.optical-metrology-centre.com/downloads/tech_briefs/techbrief_lasertracker.pdf).
- [89] [HTTP://WWW.MERICI-PRISTROJE.CZ/PRODUKTY/PODLE-VYROBCE/FARO/LASER-TRACKER/](http://www.merici-pristroje.cz/produkty/podle-vyroby/faro/laser-tracker/)
- [90] [HTTP://WWW.KVS.TUL.CZ/DOWNLOAD/RAPID_PROTOTYPING/RP1_SKRIPTA.PDF](http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp1_skripta.pdf)
- [91] DURAKBASA M., AFJEHI-SADAT A., OSANNA P.: NEISTOTY MĚŘENÍ, DOSTUPNÉ NA INTERNETĚ:
[HTTP://WWW.KAM.SJF.STUBA.SK/KATEDRA/PUBLIKACIE/LEONARDO/UCEBNICA/27S.PDF](http://www.kam.sjf.stuba.sk/katedra/publikacie/leonardo/ucebnica/27s.pdf)
- [92] NUMAN, M., DURAKBASA, ALI AFJEHI -SADAT., OSANNA, P., HERBERT. : TECHNICKÉ MĚŘENÍ – ZVÁZOK II, ING. PETER JURIGA - GRAFICKÉ ŠTÚDIO, BRATISLAVA 1. VYDANIE, 2005 , ISBN 80-89112-04-8
- [93] OČENÁŠOVÁ, L. PRÍSPEVOK K HODNOTENIU ODCHÝLKY KRUHOVITOSTI PRI MĚŘENÍ NA SÚRADNICOVOM MĚŘACOM STROJI : DOKTORSKÁ DISERTAČNÍ PRÁCE. ŽILINA: ŽILINSKÁ UNIVERZITA FAKULTA STROJNÍ, 2008. 104 s., 35 PŘÍL.
- [94] [HTTP://WEB.TUKE.SK/SMETROLOGIA/NAVODY/ULOHA07.PDF](http://web.tuke.sk/smetrologia/navody/uloha07.pdf)
- [95] [HTTP://WWW.KAM.SJF.STUBA.SK/KATEDRA/PUBLIKACIE/EDUTRAC/MTV/UCEBNICA/DLZKA/DLZKA9.PDF](http://www.kam.sjf.stuba.sk/katedra/publikacie/edutrak/mtv/ucebnica/dlзка/dlзка9.pdf)
- [96] SMART TECHNOLOGIES. POPIS PROCESU DIGITALIZACE [ONLINE]. c2009, [HTTP://WWW.SMART-TECH.CZ/CZ/DIGITALIZACE/](http://www.smart-tech.cz/cz/digitalizace/)
- [97] [HTTP://WWW.KOD.TUL.CZ/PREDMETY/KONSTRUKCE/KPC/DOKUMENTY/03_PREDNASKA_2_C AST.PDF](http://www.kod.tul.cz/predmety/konstrukce/kpc/dokumenty/03_prednaska_2_c_ast.pdf)

- [98] 3D GRAFIKA, MECHANICKÉ SKENERY ŘADY MICROSCRIBE, DOKUMENT DOSTUPNÝ NA [HTTP://3DGRAFIKA.CZ/](http://3DGRAFIKA.CZ/)
- [99] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. DIGITALIZACE-JEJÍ PRINCIP A ROZDĚLENÍ [ONLINE]. ROČ. 2004, Č.6, RUBRIKA TRENDY/MĚŘENÍ, S.28. <[HTTP://WWW.MMSPEKTRUM.COM/CLANEK/DIGITALIZACE-JEJI-PRINCIP-A-ROZDELENI.](http://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-jeji-princip-a-rozdeleni)>
- [100]METRIS. INDUSTRIAL X-RAY AND COMPUTED TOMOGRAPHY [ONLINE]. [HTTP://WWW.METRIS.COM/PRODUCTS/X-RAY_AND_CT_INSPECTION/](http://www.metrisk.com/products/x-ray_and_ct_inspection/)
- [101]METRIS. CMM SCANNERS [ONLINE]. [HTTP://WWW.METRIS.COM/CMM_SCANNERS/](http://www.metrisk.com/cmm_scanners/)
- [102]HOFFMANN, V. A BRIEF HISTORY OF 3D SCANNING. [ONLINE]. 1998. [HTTP://VR.ISDALE.COM/3DSCANNERS/3D_SCAN_HISTORY/HISTORY.HTM](http://vr.isdale.com/3Dscanners/3D_scan_history/history.htm).



Klíč k řešení

- O 1.1.1 Základním cílem metrologie je zabezpečování jednotnosti a přesnosti měření.
- O 1.2.1 4.
- O 1.2.2 2.
- O 1.3.1 Metrologie je věda o měření a její aplikaci.
- O 1.3.2 Výsledek měření je soubor hodnot veličiny přiřazený měřené veličině společně s jakoukoliv další dostupnou relevantní informací.
- O 1.3.3 Základní veličina je veličina v konvenci zvolené podmnožině dané soustavy veličin, z níž žádná veličina podmnožiny nemůže být vyjádřena pomocí jiných veličin.
- O 1.3.4 Prvotní ověření je ověření měřidla, které dosud nebylo ověřeno.
- O 1.4.1 FM se zabývá soustavou jednotek fyzikálních konstant, uchováváním a rozvojem státních etalonů, přenosem jednotek na nižší etalonážní řády a vědou a výzkumem v metrologii.
- O 1.4.2 PM slouží k zabezpečení jednotnosti a přesnosti měření a následně jakosti výroby a služeb v širokém spektru oborů.
- O 1.4.3 LM zabezpečuje jednotnost a přesnost měření v regulované sféře podle platné právní úpravy.
- O 1.4.4 NMS je soustava technických prostředků, zařízení a technického personálu a právních a technických předpisů.
- O 1.4.5 Vrchol NMS tvoří národní metrologické instituty.
- O 1.4.6 Metrologická pracoviště podniků patří do průmyslové metrologie.
- O 1.4.7 Etalon stanovený rozhodnutím státu k tomu, aby v dané zemi sloužil jako základ pro přiřazování hodnot jiným etalonům předmětné veličiny.
- O 1.4.8 Úkolem průmyslové metrologie je zabezpečit kvalitu výroby a služeb.

- O 1.4.9 Hnací silou rozvoje národního metrologického systému politické a hospodářské změny spočívající v otevírání ekonomiky globálnímu trhu, členství v EU, členství v NATO, principy vzájemného uznávání certifikátů nejrozličnějších zkoušek, restrukturalizace českého průmyslu a zavádění nových technologií.
- O 1.4.10 Ne.
- O 1.4.11 Ano.
- O 1.4.12 Ne.
- O 1.5.1 Zákon byl původně koncipován podle doporučení obsažených v tehdy platném dokumentu D1 (1975) Mezinárodní organizace legální metrologie.
- O 1.5.2 Účelem zákona o metrologii je úprava práv a povinností fyzických osob, které jsou podnikateli, a právnických osob a orgánů státní správy.
- O 1.5.3 Etalony jsou měřidla sloužící k realizaci a uchovávání této jednotky nebo stupnice a k jejímu přenosu na měřidla nižší přesnosti.
- O 1.5.4 Pracovní měřidla jsou měřidla, která nejsou etalonem ani stanoveným měřidlem.
- O 1.5.5 Nejvyšší institucí v oblasti metrologie je Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR.
- O 1.5.6 Rada pro technickou normalizaci, Rada pro metrologii, Komise pro posuzování shody.
- O 1.5.7 Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- O 1.5.8 Český institut pro akreditaci.
- O 1.5.9 Provádí prvotní a následné ověřování stanovených měřidel.
- O 1.5.10 Zabezpečuje jednotnost a přesnost měřidel a měření ve všech oborech vědecké, technické a hospodářské činnosti. Zajišťuje především shodu realizace jednotek veličin v České republice s mezinárodně uznávanými etalony a přenos jednotek do praxe.
- O 1.5.11 7
- O 1.5.12 Metr je délka dráhy, kterou proběhne světlo ve vakuu za dobu $1/299\,792\,458$ sekundy.
- O 1.5.13 Ne.
- O 1.5.14 3x.
- O 1.5.15 Ne.
- O 1.6.1 Chyba měření je naměřená hodnota veličiny minus referenční hodnota veličiny.
- O 1.6.2 Nejistota měření je nezáporný parametr charakterizující rozptýlení hodnot veličiny přiřazených k měřené veličině na základě použité informace.

- O 1.6.3 Kombinovaná nejistota měření je standardní nejistota měření, která je získána použitím individuálních standardních nejistot měření přidružených ke vstupním veličinám v modelu měření.
- O 1.6.4 Hrubá chyba vzniká výjimečnou příčinou, nesprávným zapsáním výsledku, náhlým selháním měřicí aparatury, nesprávným nastavením podmínek pokusu apod.
- O 1.6.5 To nelze.
- O 1.6.6 Systematická chyba může být způsobena použitím nevhodné nebo méně vhodné měřicí metody, nepřesným měřidlem či měřicím přístrojem, případně osobou pozorovatele.
- O 1.6.7 4
- O 1.6.8 Statistická nejistoty typ A.
- O 1.6.9 Ano
- O 2.1.1 Při malých sériích, multifunkčním měření, flexibilním měření, vysokých nákladech na 1 ks výrobku.
- O 2.1.2 Pohonný systém, odměřovací systém, snímací systém, řídicí systém, počítač, software.
- O 2.1.3 Jednosouřadnicové, dvousouřadnicové, třísouřadnicové.
- O 2.1.4 Stojanový, výložníkový, portálový, mostový.
- O 2.1.5 Rám, stůl, stojan (sloup), portál, most, pinola.
- O 2.1.6 Analogové a číslicové.
- O 2.1.7 Pevná, indexovatelná, manuální.
- O 2.1.8 Rubín, nitrid křemíku, oxid zirkoničitý, diamant.
- O 2.1.9 Přímý, hvězdicový, diskový, speciální.
- O 2.2.1 Elektormechanicky a piezoelektricky.
- O 2.2.2 Stacionární (pevné) a mobilní (přenosné).
- O 2.2.3 Optické, laserové, mechanické, destruktivní, ultrazvukové, rentgenové.
- O 2.2.4 Triangulace, optická interferometrie, měření doby letu světla.
- O 2.3.1 Deformace součásti, poddajnost povrchu, tvarové odchylky.
- O 2.3.2 Je to schopnost CMM dávat při opakovaném měření stejný výsledek.

- O 2.3.3 Je to podíl času, po který CMM měří daný rozměr v mezích své přesnosti
- O 2.3.4 Lineární, plošné, prostorové, kombinované.
- O 2.3.5 Měřicí přístroj, okolí, měřená součást, personál (obsluha), strategie měření.
- O 2.3.6 MPE (Maximum Permissible Error).
- O 2.4.1 Pojem přesnost obsahuje stupeň shody s etalonem.
- O 2.4.2 Náhodnými příčinami.
- O 2.4.3 Použití statistických regulačních diagramů zabezpečuje vyslání signálu v případě, že působí nějaké nepříznivé vlivy.