

SOUŘADNICOVÉ MĚŘÍCÍ STROJE

1. ÚVOD

Souřadnicové měřicí stroje představují jednu z nejvýznamnějších inovací v oblasti měření ve strojírenství.

Konstrukce souřadnicových měřicích strojů byla vynucena potřebou měření karoserií v automobilovém a leteckém průmyslu a potřebou měření u NC strojů ve strojírenské výrobě.

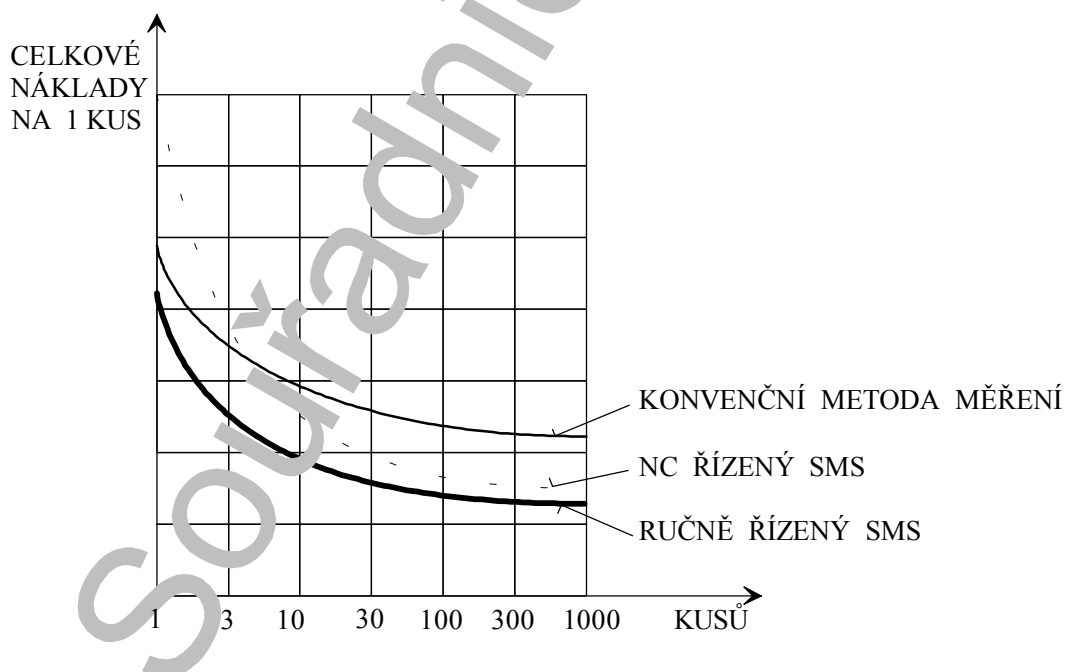
Princip souřadnicového měření spočívá v tom, že stanovíme základní bod v prostoru a polohy dalších bodů na měřené součásti měříme formou souřadnicových rozměrů v osách X, Y, Z. Možnost určení základního bodu v kterémkoliv místě pracovního prostoru měřicího stroje je velkou výhodou oproti konvenčním metodám.

Ve srovnání s tradičními způsoby měření, kde odečítání naměřených hodnot z jemných stupnic je nejen zdouhavé, ale i namáhavé, představuje číslicový způsob vyhodnocení výsledků u souřadnicových měřicích strojů značný krok vpřed. Mimo to je většina číslicových souřadnicových měřicích strojů (SMS) uzpůsobena tak, že je možno k nim připojit zařízení pro záznam naměřených hodnot, které automaticky registruje naměřené body. Záznam výsledku slouží jako doklad o provedeném měření, ale může být též podkladem pro statistické metody vyhodnocování měření.

SMS kontroluje výrobky podobným způsobem jako je NC stroj vyrábí. Pracuje rychle - měřicí časy redukuje asi o 80 % . SMS jsou zvláště vhodné pro rozměrovou kontrolu součástí vyrobených na frézkách, vrtávacích a vrtačkách.

SMS ve spojení s počítačovou technikou představuje prostředek pro účinné zvyšování a udržování jakosti ve všech druzích výroby při obrábění i tváření.

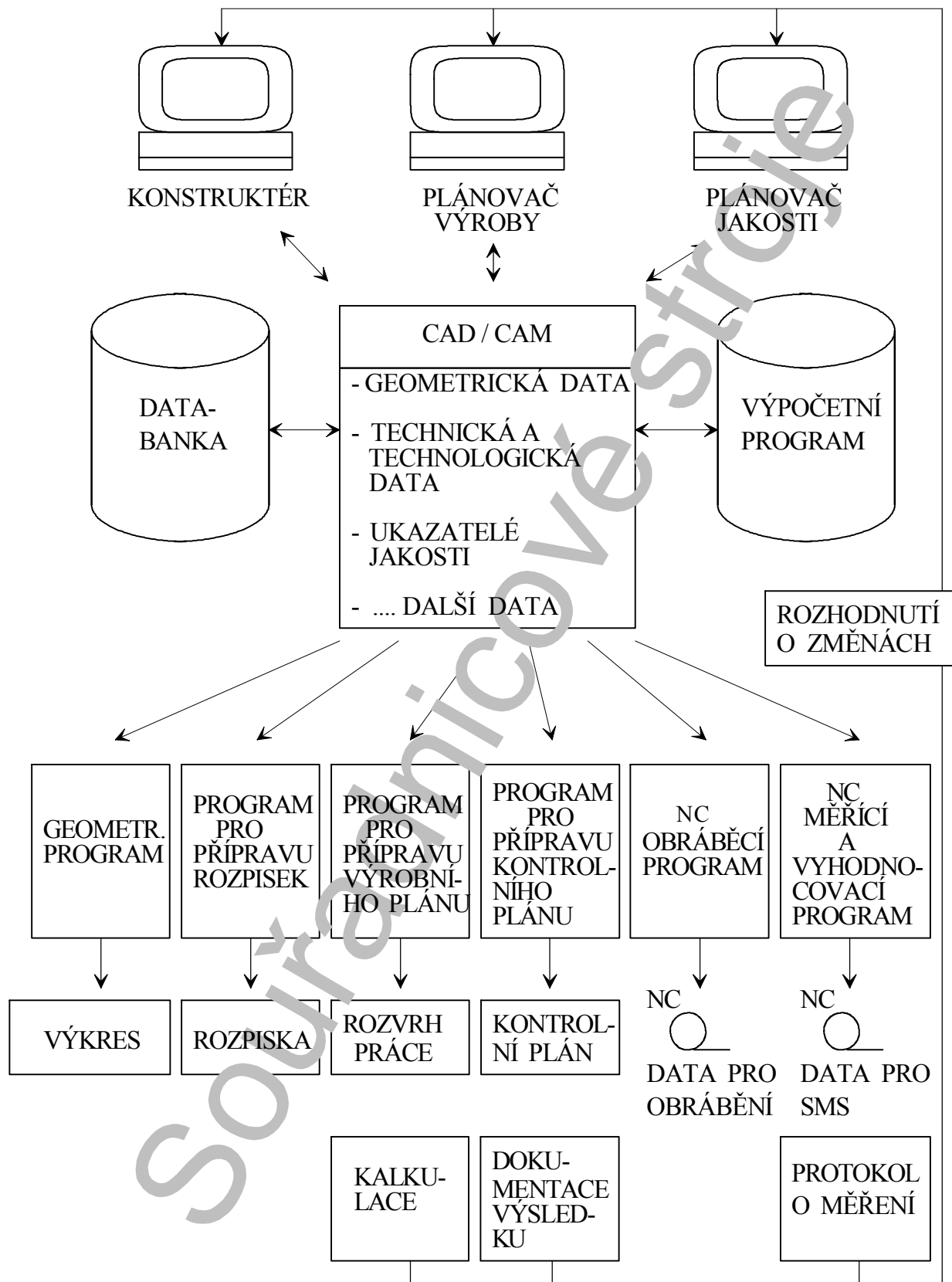
Uplatnění různých měřicích metod charakterizuje obrázek.



VAZBA SMS A CAD/CAM

Data používaná při definování geometrických prvků součástí konstruovaných za pomoci počítače (systém CAD), jsou potřebná při přípravě řídicích programů pro měření na SMS, tj. i pro řízení jakosti výroby. Integrace systémů CAD/CAM/CAQ (Computer Aided Quality

Insurance) je načrtnuta na obrázku. Tato integrace je vhodná pro výrobu forem pro odlitky a výkovky, pro tvarové plochy karosérií a proudnicové tvary. U těchto součástí se jedná o dva druhy ploch. Nejdříve jsou to plochy, které lze definovat základními geometrickými prvky a potom obecné tvarové plochy, které vyžadují bodové zpracování.



Kontrola obrobku vyžaduje přípravu měřicího programu, provedení vlastního měření, vyhodnocení měření a protokolování. Měřicí program sleduje geometrické definice a návody pro pohyby, měření a vyhodnocení. Na základě uvedených definic a návodů jsou určovány body měření. Měřicí program může připravit konstruktér obrobku na počítači CAD bez toho, že by SMS byl zatěžován přípravou programu.

Při sestavování dat pro složité tvarové plochy je několik možností. Možno vycházet z rozměrových údajů na výkrese součásti nebo se digitalizují výkresové vrstevnice tvarové plochy. Dále lze digitalizovat přímo model plochy na SMS.

Při obrábění složitých tvarů modelů, forem a nástrojů se ve stále větší míře uplatňuje frézování na stroji s pěti NC řízenými pohybovými osami. U složitých ploch se objevil při tomto frézování problém, jak zabránit kolizím nástroje s plochou již ofrézovanou a s upínacími přípravky.

Zároveň je požadovaná stálá jakost frézované plochy, což je plněno např. dodržováním optimální polohy frézy vůči frézované ploše. Doporučuje se, aby odchylka kolmosti osy frézy od tečné roviny tvarové plochy byla neustále $0,5^\circ$.

Uvedené problémy jsou řešitelné pomocí počítače v rámci systémů CAD/CAM, na které navazuje systém CAQ pro řízení jakosti pomocí SMS s podporou počítače (Computer Aided Quality Insurance). CNC SMS mají všechny předpoklady pro plné uplatnění při pružné automatizaci našeho strojírenství (CIM, automatizovaný závod).

SMS je přitom používán nejen pro kontrolu hotových součástí, ale rovněž pro digitalizaci modelové plochy a pro přípravu řídicích programů pro NC frézku. Při této přípravě se zároveň zjišťuje nebezpečí uvedených kolizí.

PŘIPOMÍNKY K VYUŽITÍ SMS

Zmíněná rychlost měření na SMS umožňuje zvyšovat počet kontrolovaných kusů v dávce a tím usnadnit statistické vyhodnocování výroby.

Spolehlivost SMS se neustále zvyšuje a přitom se snižuje jejich citlivost proti rušivým vlivům dílenského provozu, takže SMS je možné zařazovat přímo do dílen a bezprostředně zapojovat do systému řízení jakosti. Takto se vytváří podmínky pro 100% kontrolu důležitých součástí.

Ze snahy o rozšiřování a prohlubování kontrolní činnosti pomocí SMS vyplývají tyto požadavky :

- kontrolní operace by neměla trvat déle než obráběcí operace,
- měřicí přesnost SMS by neměla být nadměrně vyšší než plyne z přesnosti daných obrobků,
- různost obrobků a jejich geometrických prvků v pružně automatizované výrobě vyžaduje nasadit automatickou výměnu měřicích sond,
- přípravu řídicích programů pro SMS je nutné zajišťovat mimo SMS, aby se nesnižovalo jejich časové využívání,
- efektivní kontrola na SMS je nespílitelná bez výkonného počítače,
- při nízkém počtu měřicích úkonů se někdy využívá přepínací a odepínací pracoviště AVS pro kontrolu průměrů děr pomocí konvenčních měřidel (kalibry, třídoteková měřidla apod.). Touto cestou se ušetří transport obrobku na SMS, ovšem snižuje se objem automatických úkonů a zvyšuje se rozsah ručních zásahů. Přitom pro kontrolu tvaru a polohy (např. rozteče otvorů) je nutno měřit na SMS, jelikož nejsou k dispozici univerzální měřicí prostředky pro tuto oblast.

Dokonalý AVS musí umožňovat různé provozní režimy SMS, které jsou závislé na vybavení SMS a lze rozlišovat tři základní druhy :

- *Ruční režim* - operátor si přivolá součást, která má být kontrolována. Stroj pracuje pod ručním řízením anebo operátor zařadí automatický měřicí program. Protokol o měření je zpracován automaticky a operátor odešle hlášení o chybě a případně specifikuje příčiny chyb.
- *Poloautomatický režim* - obrobek se dostal na SMS automaticky podle řídicího programu a operátor zařadí automatický kontrolní program s vytištěním protokolu o měření. Operátor odesílá hlášení o chybě a případně specifikuje příčiny chyb.
- *Automatický režim* - obrobek se dostal na SMS automaticky podle řídicího programu, rovněž kontrolní program je automaticky zařazen, včetně výsledků měření a hlášení o závadách.

POHON	ŘÍZENÍ	SONDA	ZOBRAZOVÁNÍ DAT	PROGAMOVÁNÍ	STRATEGIE VYUŽITÍ
Přímý ruční	Ruční	Mechanická	Číslicový displej	Bez programu	Sledování zobrazovaných dat
Ruční servopohon		Mechanicko-elektrická (spínací nebo měřicí)	Textová obrazovka	Metoda učení	Alarmující signalizace
Motorický	CNC			Optická	Tištěný protokol Diagram
	DNC	Integrace CAD-CAM-CIM			

2. TYPY KONSTRUKCÍ SMS

SMS je zařízení, které má svoji vlastní průměrnou desku doplněnou měřicím mechanismem. Měřicí mechanismus je vždy vybaven měřicím dotekem, který "ohmatává" kontrolovanou součást a jehož polohu je možno identifikovat buď opticky nebo nejčastěji na číslicovém ukazateli. Souřadné osy SMS jsou navzájem kolmé a současně kolmé a rovnoběžné s průměrnou deskou.

SMS je více druhů a mohou být uspořádány podle potřeby do skupin na základě různých hledisek. Snaha o maximální přístupnost do měřicího prostoru ovlivnila řešení SMS tak, že se dnes používají v podstatě tato konstrukční uspořádání:

- mostové,
- výložníkové,
- typu vodorovných vyvrtávaček (pinolové),
- typu svislých souřadnicových vyvrtávaček (sloupové, stojanové).

S ohledem na hmotnost obrobků jsou vyráběny SMS:

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

Největší uplatnění má *konstrukce mostová*. Tyto stroje vynikají tuhou konstrukcí a velkou kapacitou měřicího prostoru. Trojrozměrná kapacita SMS umožňuje měření součástí na pěti

stranách při jednom ustavení na měřicím stole. Toto je velmi důležité pro většinu strojírenských výrobků (bloky motorů, karoserie automobilů, skříně převodek apod.).

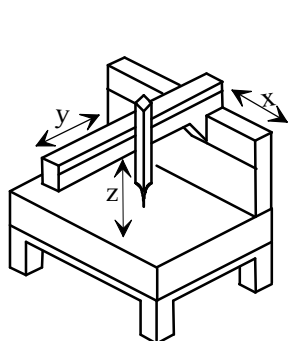
Výložníková konstrukce se nevyznačuje tak velkou kapacitou měřicího prostoru, ale je zde lepší přístup k měřené součásti. Většinou jsou tyto SMS používány pro kontrolu obrobků menších a středních rozměrů.

Konstrukce typu vodorovných vyvrtávaček jsou vhodné pro kontrolu součástí s průchozími otvory, součást je dobře přístupná zraku kontrole. Osy otvorů jsou umístěny vodorovně.

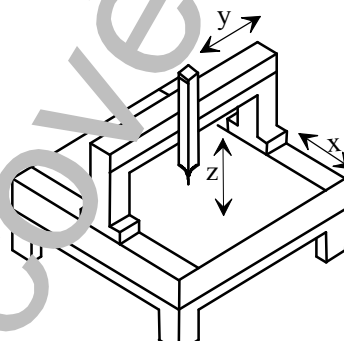
Konstrukce typu svislých souřadnicových vyvrtávaček vynikají vysokou přesností v důsledku tuhé konstrukce.

Z hlediska přesnosti a způsobu použití je možno SMS rozdělit na :

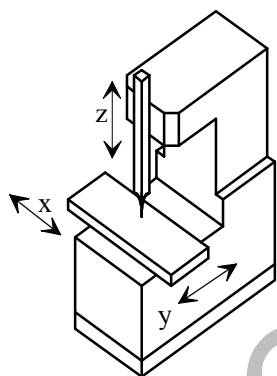
- SMS pro nejpřesnější měření v měřicích laboratořích, kde je požadavek maximální přesnosti, dodržení komparačního principu, kde se vyžaduje zvýšená přesnost odměřování a měřicích hlav ;
- SMS pro provozní využití - většinou se používají pro měření skříňových součástí, přesnost měření je zde vždy pořád vyšší než přesnost výroby. Vyžaduje se snadná přístupnost ;
- SMS pro proměření montážních celků - mívají většinou součásti umístěné v úrovni podlahy.



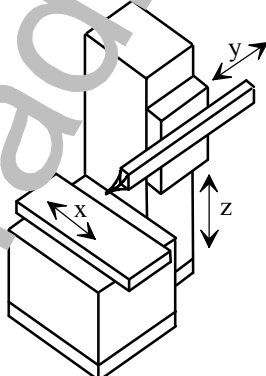
KONZOLOVÝ
(VÝLOŽNÍKOVÝ) SMS



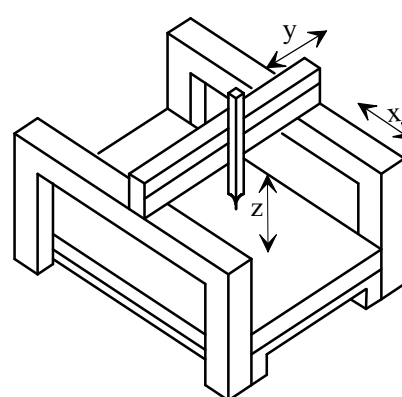
MOSTOVÝ SMS



STOJANOVÝ
(SLOUPOVÝ) SMS



PINOLOVÝ SMS



PORTÁLOVÝ SMS

3. KONSTRUKCE SMS

Na příměrné desky, které tvoří základ SMS i na vodící plochy jsou kladeny vysoké požadavky v dosažení rovinnosti a kolmosti. Minimální úchylnost rovinnosti vodících ploch,

kteře jsou broušeny na speciálních bruskách, bývá kolem 0,002 mm/m, lapováním je možno dosáhnout až 0,005 mm/m.

Velmi často se změny geometrické přesnosti, které vznikají u ocelových a litinových konstrukcí vylučují použitím kamene. Používá se nejčastěji granit a diabas.

Měřicí rozsah SMS je dán hodnotami jednotlivých souřadnic X, Y, Z. Je to prostor, který při měření obsáhne měřicí hlavice. Většinou jsou však rozměry obrobku, který se může měřit na SMS menší. Cejchováním snímací hlavice a doteků se zmenšuje také měřicí rozsah.

Materiály jako jsou uhlíková vlákna nebo keramika mohou být cenově výhodné. Základna se sloupovou sondou dlouhou 2 m má dovolenou odchylku méně než 0,0005 mm. Ocel a hliník mají podobnou tuhost, ale ocel má menší koeficient roztažnosti. K minimalizaci dynamických chyb a zvýšení vlastních frekvencí se používají metody konečných prvků.

3.1. Pracovní deska

Používá se granitová deska, alternativně litinový odlitek. Pracovní deska je ustavena na čtyřech základních podpěrách. Horní plocha pracovní desky je broušená. V pracovní ploše jsou otvory se závitů. Pomocí těchto závitů, šroubů a upínek se připevňuje k pracovní ploše měřený kus.

Na koncích desky je upevněno seřizovatelné vedení, po kterém pojíždí most.

3.2. Most

Tzv. složené uzavřené konstrukce, jehož stojiny tvoří profily ČSN 42 6936. Překlad mostu tvoří vedení příčných saní.

3.3. Vozík

Deska s kalenými vodícími plochami. Uvnitř desky je vytvořen závěs pro uložení objímky pinoly nebo projektoru břitu, alternativně dotekové sondy.

3.4. Pinola

Litinová nebo duralová tyč profilu H. Vyvažování pinoly je mechanické, pomocí dvou souměrných závaží.

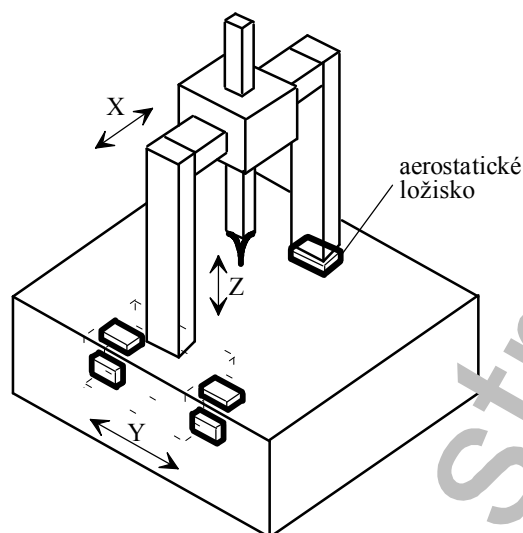
3.5. Vedení

Konstrukce pohyblivých částí SMS je provedena tak, aby se pohyblivé části mohly lehce posouvat s maximální přesností a bez trhavých pohybů i při minimálních rychlostech, které se vyskytují v koncových polohách. Pohyblivé části se ukládají na vedení s co nejmenším třením, s minimálním opotřebením a maximální tuhostí celého zařízení. Z těchto důvodů se dnes téměř nepoužívá kluzných vedení. Jeho nevýhodou je větší složitost provedení, což vede k prodražování SMS. Jsou zde také problémy se svodem oleje, jeho těsněním a odvodem tepla.

Vhodnější a také častěji používané je uložení na vedení aerostatickém s plynným třením. Přednost tohoto vedení spočívá v tom, že nejsou potíže s odváděním oleje. Výhodou je velmi nízké tření i při vyšších rychlostech. Aerostatická ložiska mají tuhosti okolo 1000 MN/m. Obtíže jsou i s čištěním vzduchu. Nedostatkem je možnost poškození vedení při porušení vrstvy vzduchu a snížená odolnost proti korozi.

Nejvhodnějším vedením a také často používaným pro SMS jsou vedení valivá, která bývají na kuličkách nebo válečkách. K jejich výhodám patří velmi malé tření, vysoká rovnoměrnost pohybů, která je u SMS jednou z podmínek pro přesná měření, vysoká tuhost při dobrém zakřívání.

Přítomnost mazání na valivých vedeních prakticky nemá vliv na přesnost pohybů a základním účelem mazání je ochrana proti korozi. K nedostatkům valivých vedení patří složitost jejich přesného zhotovení.



Přesnost lze dosáhnout uspořádáním aerostatických ložisek na všech osách. Např. Y-ová osa má pět aerostatických ložisek (viz. obr.), kde každé ložisko zachytává jeden ze šesti možných stupňů volnosti, čili jeden stupeň zůstává nezachycen (Y-ový pohyb). Takováto kinematická struktura zajistí, že most může mít jen jednu orientaci minimalizující opakovatelné chyby.

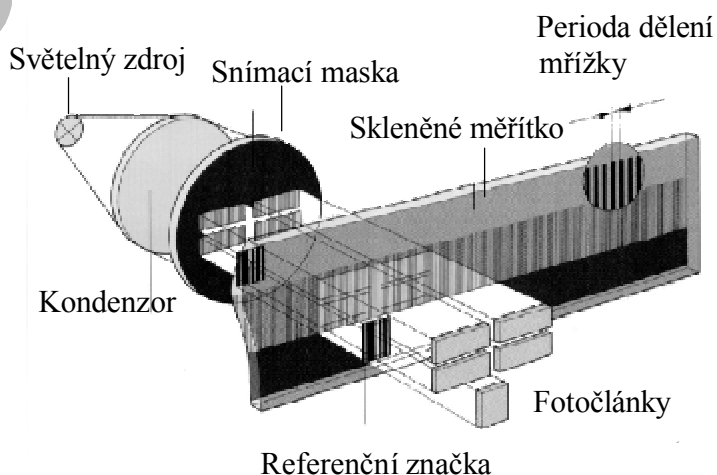
3.6. Odměrovací systém SMS

Odměrovací systém podstatně ovlivňuje přesnost měření SMS. Rozlišovací schopnost a periodická chyba měřítka ovlivňují výsledek měření v závislosti na měřené délce. Chyba dělení měřítka se naproti tomu projevuje jako chyba s dlouhou periodou (u skládaných měřítek). U indukcosynového odměrování vedle periodické chyby přesnost měření ovlivňuje rychlost pohybu odměrovacího systému. Laserinterferometrové odměrování má chybu měření v celém rozsahu konstantní, avšak při eliminaci vlivu prostředí korekčním zařízením.

FOTOELEKTRICKÉ SNÍMÁNÍ

(firma Heidenhein)

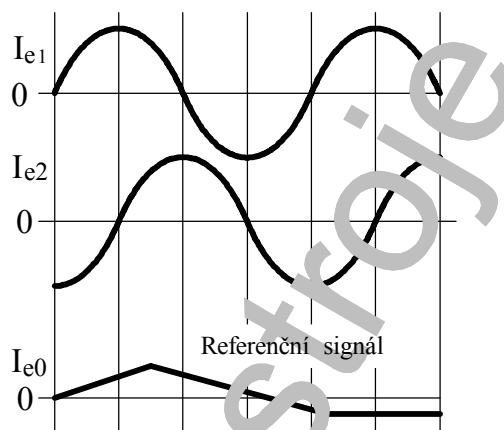
Lineární, rotační a úhlové měřicí systémy HEIDENHEIN pracují na principu fotoelektrického snímání jemných rastrů. Jeden typ lineárního odměrování pracuje se skleněným měřítkem opatřeným mřížkou. Mřížka se vytváří nanášením extrémně tenké vrstvy chromu na skleněný podklad. Přesnost struktury dělení leží v oblastech mikronů a pod mikron.



Zároveň se takto vytvořená mřížka vyznačuje odolností proti chemickým a mechanickým vlivům. Perioda dělení mřížky je 10 nebo 20 μm . Vlastní mřížka nebo-li rastr sestává z rysek

nepropouštějící světlo a mezer propouštějících světlo, o stejné šířce, na jedné stopě. Na souběžné stopě se nacházejí referenční značky.

Snímací hlava obsahuje zdroj světla, kondenzor - který světelné paprsky nasměruje paralelně, snímací masku se snímací mřížkou a fotočláňky. Jakmile se začne pohybovat snímací hlava vůči měřítku, překrývají se střídavě mezery a rysky mřížky měřítka a snímací masky. Fotočláňky pak zaznamenávají změny světla a tmy periodicky a vytvářejí elektrické signály. Dva výstupní sinusové signály I_{e1} a I_{e2} jsou navzájem

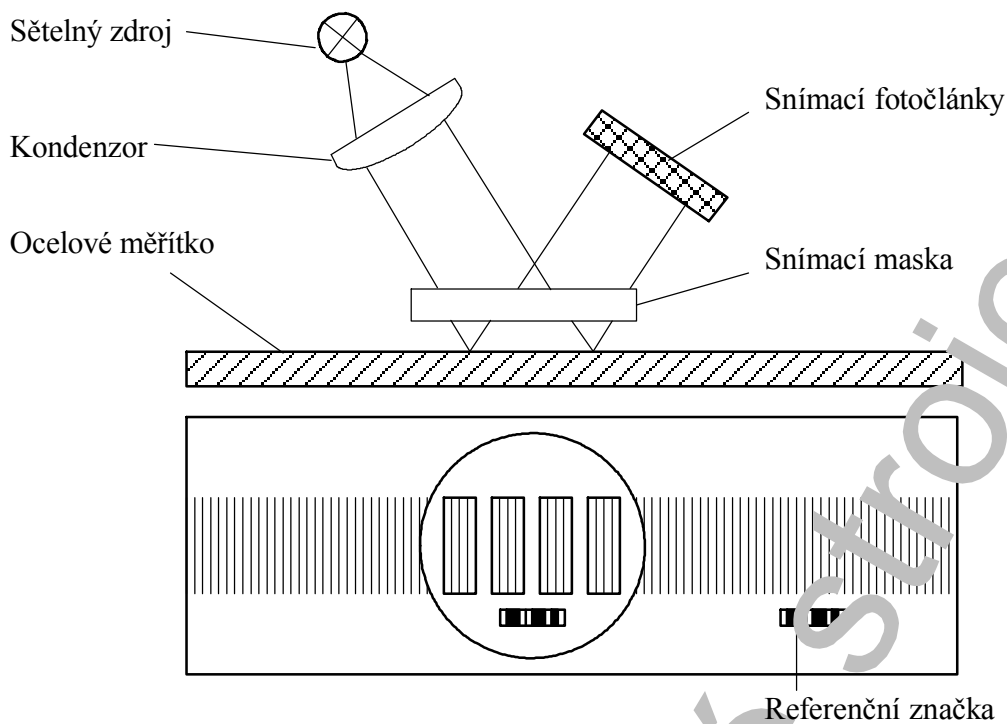


fázově posunuty o 90° elektrických. Současně je k dispozici referenční signál I_{e0} . Perioda signálu 360° odpovídá periodě dělení mřížky měřítka

Inkrementální rotační snímače používají skleněný kotouč s radiálním dělením. Počet period signálu odpovídá počtu rysek na kotouči.

Absolutní rotační snímače mají vícestopé rastrované kotouče. Měřená hodnota je odečítána přímo, každé poloze natočení je pevně přiřazena určitá hodnota.

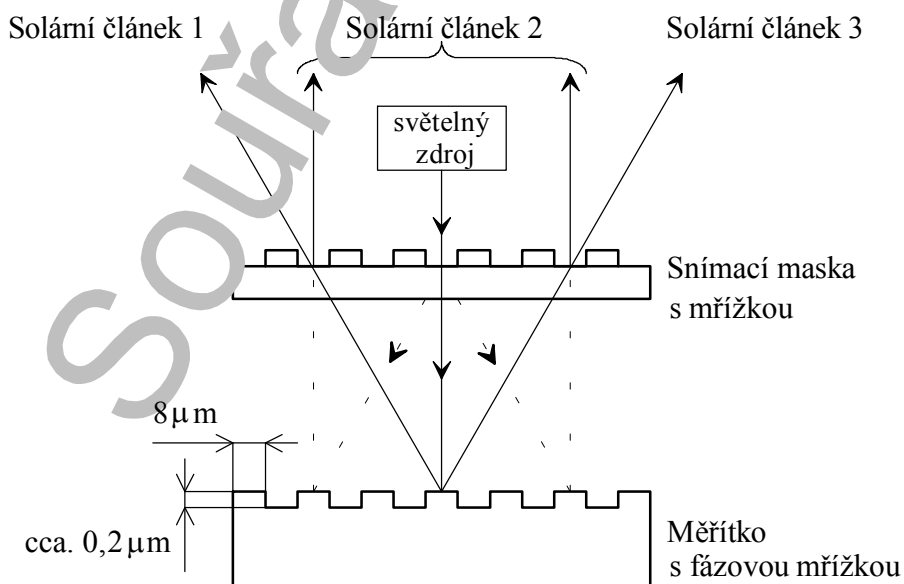
Jiný typ odměřování u lineárních systémů používá mřížku na ocelovém pásku. Mřížka sestává ze zlatých rysek, které zajišťují odraz světelného záření, a z mezer, které záření pohlcují. Během vzájemného pohybu ocelového měřítka a snímací hlavy vysílají snímací fotočláňky periodické signály I_{e1} , I_{e2} a signálové špičky I_{e0} jako referenční signál.



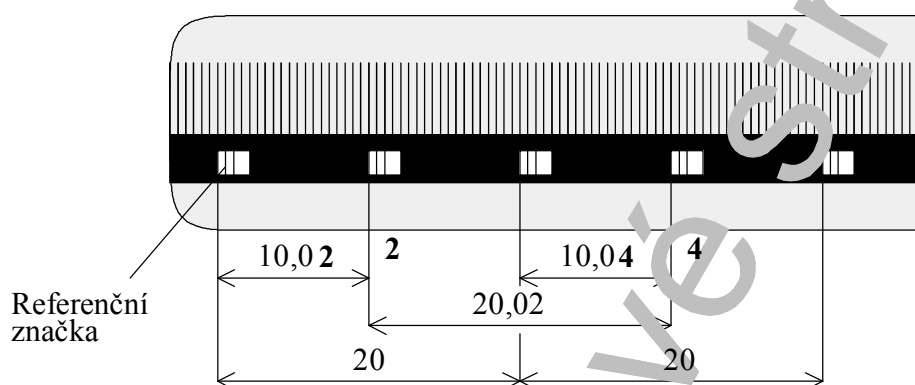
Další lineární systémy odměřování jsou založeny na ohybu a interferenci světelného toku. Na skleněném měřítku je vyrobena nasvětlovací fázová mřížka o výšce stupňů cca $0,2 \mu\text{m}$, snímací maska je opatřena odpovídající mřížkou na prosvětlovacím principu.

Relativním pohybem měřítka vůči snímací masce vznikají sinusové signály, které jsou odpovídajícím způsobem upraveny na dva pravouhlé signály navzájem posunuté o 90° elektrických, jak je uvedeno dále.

Tato měřítka jsou rovněž opatřena referenční značkou, s jejíž pomocí se dá vyvolat referenční signál, který zobrazuje absolutní hodnotu polohy. Tímto způsobem je pak možno po přerušení dodávky proudu znovu určit absolutní polohu vztažného bodu a opakovat vlastní postup práce na stroji.



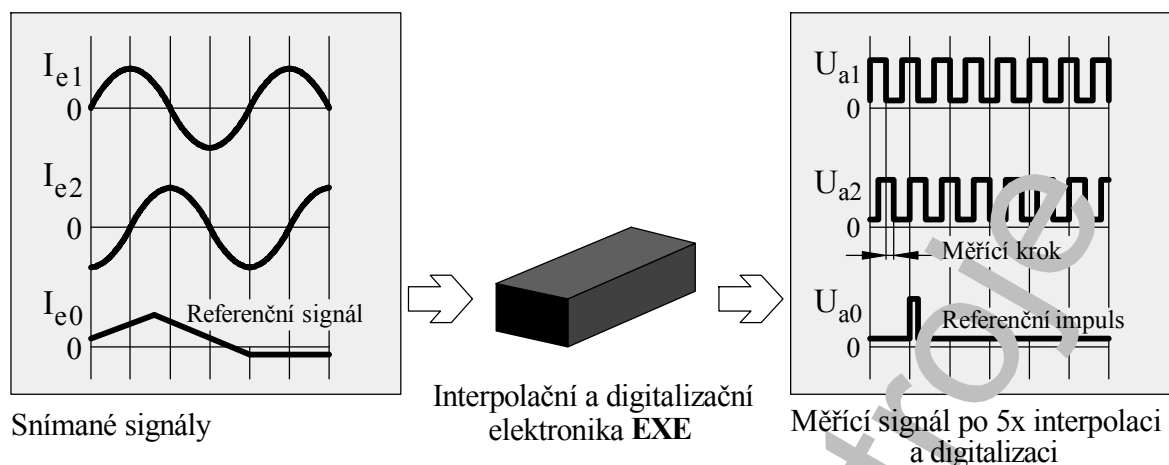
Referenční značky : Vedle stopy s pravidelnou mřížkou je vytvořena stopa s jednou nebo více referenčními značkami, která umožňuje odečtení vztažné hodnoty v absolutní míře. Referenční značky mají nepravidelné dělení. Při přejetí jedné odpovídající snímací mřížky přes referenční značku vznikne jediná úzká signálová špička. Aby nemusely být ujety relativně velké úseky pro dosažení vztažné hodnoty polohy, používají se referenční značky v kódovaných roztečích - Rozteč mezi jednotlivými referenčními značkami je definována rozdílně. U lineárních systémů odměřování s referenčními body v kódovaných roztečích, získáme absolutní hodnotu polohy přejetím dvou sousedních referenčních značek tj. vzdálenost 20 mm (max. 10 mm). (U snímačů úhlového natočení stačí k určení absolutní polohy, při použití referenčních značek v kódovaných roztečích, pootočení o 20° popř. o 10°.)



Sinusové výstupní signály z lineárních, rotačních a úhlových snímačů polohy jsou obvykle zpracovány v externí interpolační elektronice vestavěné do zvláštní skříňky s označením EXE. V interpolačních a digitalizačních obvodech tvarovače pulsů EXE jsou periodické signály z fotočlánku I_{e1} a I_{e2} nejprve zesíleny a pak interpolovány. K interpolování signálů slouží odporová síť, která z obou snímaných sinusových signálů vytváří vektorovým součtem fázově posunuté signály. V průběhu jedné periody signálu může být vytvořen z každé hrany signálu U_{a1} a U_{a2} jeden počítaný impuls. Vzdálenost mezi dvěma následnými hranami signálu U_{a1} a U_{a2} odpovídá měřicímu kroku. Ten je v tomto případě 1/20 periody dělení. Stejným postupem je možno dosáhnout znásobení signálu 10x nebo 25x, přičemž měřicí krok odpovídá 1/40 nebo 1/100 periody dělení.

Příklad výpočtu : perioda dělení určitého lineárního odměřování je 20 μm , bude 5x interpolována, pravouhlý signál 4x vyhodnocen v následující elektronice. Výsledný měřicí

krok je $1 \mu\text{m}$.

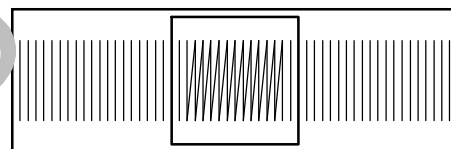


Ještě vyšší stupeň je možno dosáhnout digitální interpolací.

POUŽITÍ MOIRÉ PROUŽKŮ

Jsou-li dvě podobné průsvitné mřížky položeny na sebe, tak jak je ukázáno na obrázku, jedna mřížka bude natočená o malý úhel vzhledem k druhé, bude se řada tmavých a světlých oblastí po prosvícení světelným paprskem jevit v pravém úhlu k vyrytým čárkám.

Rozdělení mezi sousedními tmavými oblastmi závisí na úhlu mezi vrypy na obou destičkách a změna světelné intenzity je přibližně sinusová. Fotočlánek určený k prohlížení proužků měří intenzitu částí čárkového vzorku.



Posouvá-li se jedna mřížka vzhledem k druhé, proužky se budou jevit jako že se pohybují směrem dolů při pohybu v jednom směru a směrem nahoru, když se směr pohybu otočí. Intenzita světla zachycená na fotočlátku bude v závislosti na dráze sinusová tak, jak jsou mřížky po sobě vzájemně posouvány. Výstupní signál z fotočlátku je dále zpracováván tak, jak bylo uvedeno dříve.

4. PŘÍSLUŠENSTVÍ SMS

U každého stroje je základní vybavení, které je možno podle přání zákazníka rozšířit. Základním a nezbytným prvkem elektronické soustavy je pro každou měřicí osu blok s číslicovým ukazatelem a nulovým tlačítkem pro nastavení "0" v kterémkoliv bodě osy. K většině strojů je dodáváno toto příslušenství :

- snímající hlavice se sadou doteků, které mohou být mechanické, optické, elektronické a cejchovací normál
- zařízení pro ustavení obrobku
- počítače
- zařízení pro komunikaci obsluhy s počítačem (ovládací pult, obvykle přenosný)
- zařízení pro tisk protokolu (dálnopis, tiskárna)
- zařízení pro grafický záznam (plotter)
- další příslušenství jako otočné stoly, příp. spec. zařízení pro kontinuální snímání (pokud to koncepce stroje dovolí) apod.

4.1. Snímací hlavice

4.1.1. Snímací hlavice mechanické

Mechanické snímací hlavice jsou v podstatě pevné měřicí doteky. Nejběžnější jsou tvaru kulového, kuželového nebo talířkového. Pevný dotek se používá jednak ve směru osy snímače, jednak ve směru kolmém k ose snímače.

V prvním případě se jedná o :

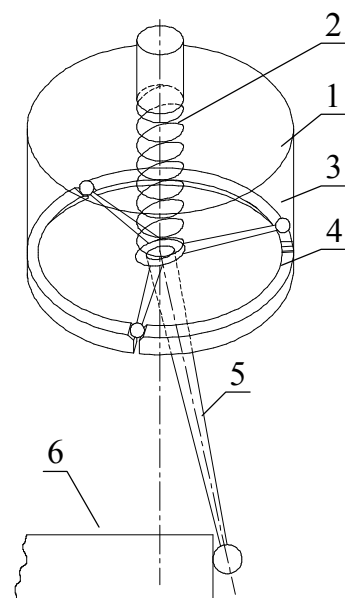
- vyrovnávání referenčního povrchu obrobku s vodorovnou rovinou stroje
- měření vzdálenosti povrchu
- měření úhlů sklonu povrchu
- měření tvarových povrchů

V druhém případě jde o :

- určení středu otvoru (čtyř nebo třibodovou metodou)
- vyrovnávání středních otvorů s některou z os stroje
- měření průměrů
- měření meziosových vzdáleností
- měření vzdáleností mezi středem otvoru a povrchem

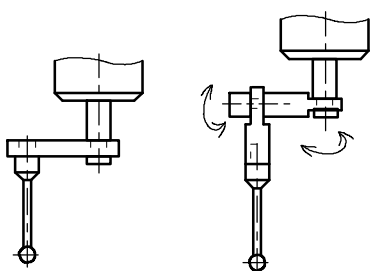
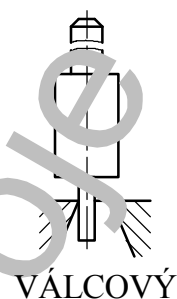
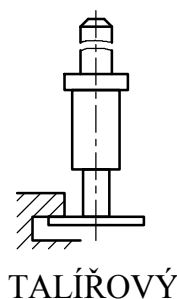
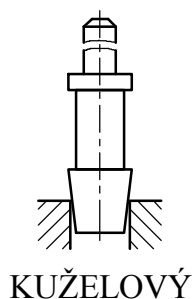
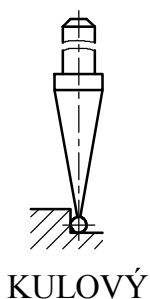
Elektrický signál vysílaný z kontaktu je základ pro získání kvantitativní informace o velikosti souřadnic X, Y, Z bodu čteného měřicím systémem.

Na obrázku je ukázáno kinematické schéma měřicí hlavy s elektrokontaktním snímačem pracujícím ve třech směrech. V tělese sondy (1) jsou na obvodu kroužku tři elektricky izolované V-drážky (4) rozmístěné po 120° . Měřicí dotek (5) je spojen se třemi rameny ukončenými kuličkami, které se následkem tlaku vyvolaného pružinou (2) drží v klidové poloze ve V-drážkách vytvářejících elektrický kontakt. Když je hrot sondy vychýlen při kontaktu s měřenou součástkou (6), dojde k přerušení elektrického kontaktu na jednom rameni a k vyslání signálu. Kontaktní systém se může skládat z V-drážek a kuliček, jak je ukázáno na obrázku, nebo ze zkřížených

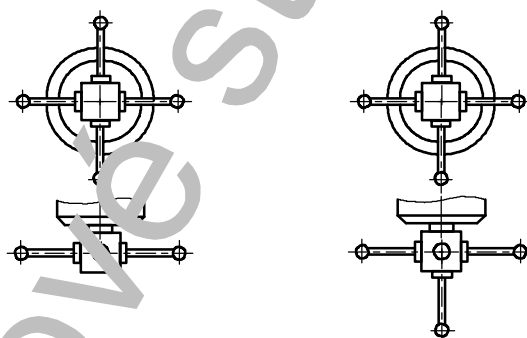


malých válečků působících jako V-drážka a malých kontaktních válečků pohybujících se mezi nimi.

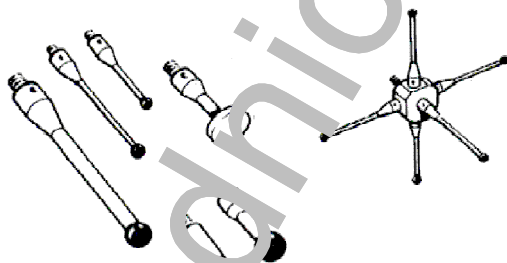
Typy měřících doteků :

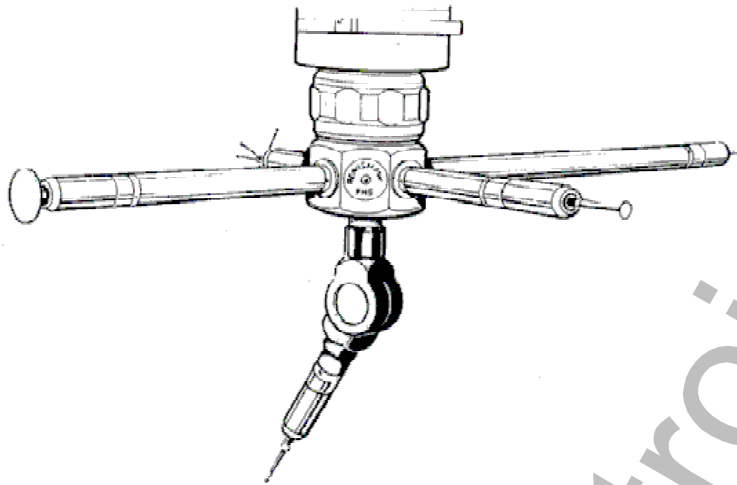


Nastavitelné snímací doteky



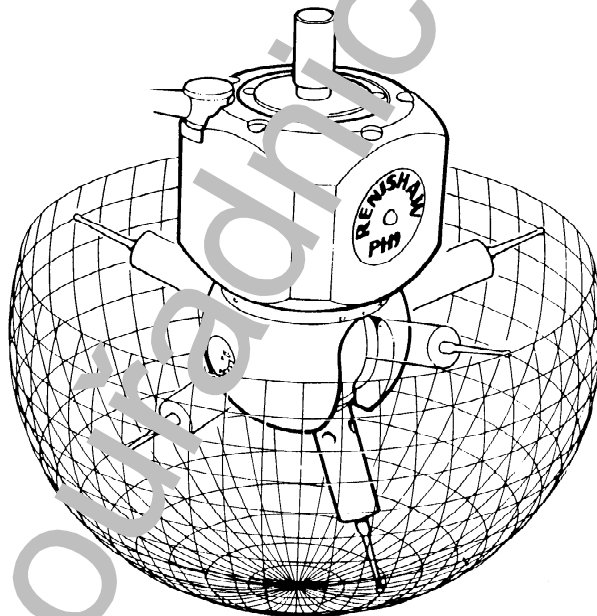
Čtyřcestný a pěticestný snímací dotek





4.1.2. Víceosý snímač

Tato "snímací hlava" umožňuje otáčení o 360° kolem osy nástroje. Používá se hlavně u kontroly vybrání a dutin, kopírování povrchu. Někdy je použita světelná signalizace. Je určeno pro měření vodivých součástí. Při měření pevnými měřicími doteky závisí opakovatelnost na individuálních schopnostech operátora. Měření se provádí za klidu, proto je pomalejší. Poměrně tvrdé je najetí na povrch součásti.



4.1.3. Měřicí zařízení optické

V podstatě zde jde o promítací mikroskop. Používá se pro vymezení poloh bodů v rovině kolmé k ose snímače, zvláště pro :

- postupné přejíždění rozměrů nebo snímání bodů z výkresu
- měření polohy a průměrů otvorů (menších průměrů)
- seřizování obrobku podle orýsovaných souřadnic nitkovým křížek mikroskopu

4.1.4. Měřicí zařízení elektronické

Elektronické měřicí hlavy jsou určeny především pro měření průměrů a meziosových vzdáleností. Měření je nenáročné, rychlé a dostatečně přesné. Elektronické měřicí hlavy pracují s doteky odpruženými - snímání rozměru je s předvolenou měřicí silou. Měřicí hlava má přesně definovanou střední polohu měřicího systému (nulový bod) a tím i střední polohu měřicího doteku. Podle polohy měřicího doteku můžeme měřicí hlavy rozdělit na :

- měřicí hlavy s předvychýleným měřicím dotekem
- měřicí hlavy s měřicím dotekem ve střední poloze

Podle kinematického stavu měřicí hlavy v okamžiku záznamu souřadnic měřeného bodu je možno rozdělit snímání na snímání :

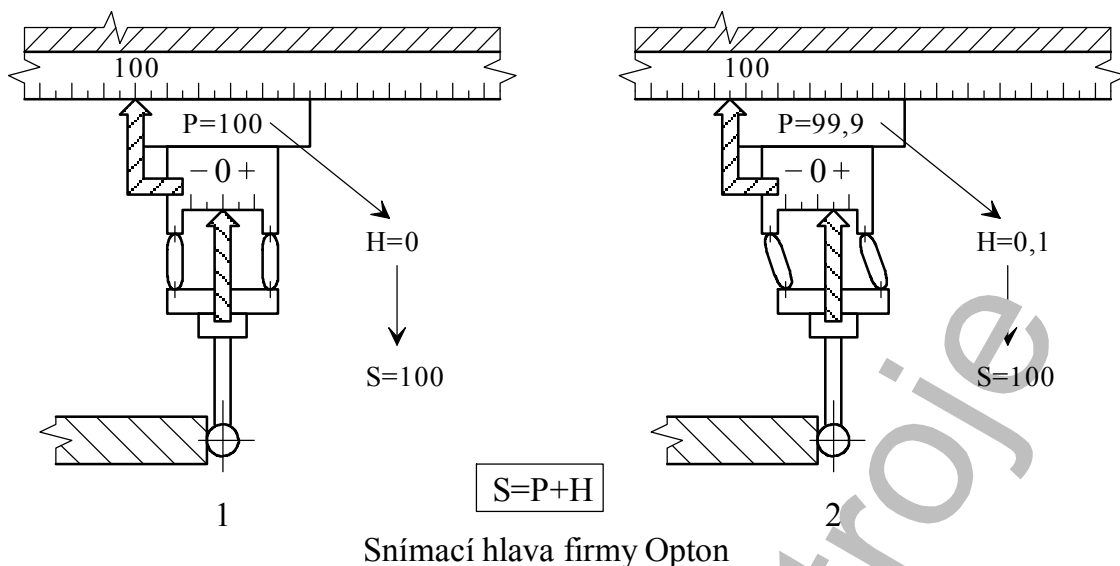
- v klidové poloze měřicí hlavy
- za pohybu měřicí hlavy

U měřicí hlavy s předvychýleným měřicím dotekem je měřicí dotek před snímáním vychýlen předvolenou měřicí silou ve směru pohybu měřicí hlavy. Po najetí měřicího doteku na výchozí plochu měřené součásti převezme řídicí systém SMS řízení rychlosti pohybu měřicí hlavy tak dlouho, až měřicí dotek zaujme střední polohu. Přitom se pohyb měřicí hlavy zastaví a elektronický systém měřicí hlavy vydá povel k záznamu souřadnic měřeného bodu. Velikost dojezdové rychlosti je přímo úměrná výchylce měřicího doteku z nulové polohy, takže měřicí hlava přijíždí do střední polohy rychlostí 1 mm/s (Opton UMM 500).

Podobně je řešena měřicí hlava firmy Leitz, ale měřicí dotek se nepředvychyluje. Při najetí doteku na výchozí plochu součásti je dotek vychylován ze střední (nulové) polohy, přičemž nastane brzdění pohybu měřicí hlavy. Po ujetí určité vzdálenosti se pohyb reverzuje a vrací konstantní rychlostí zpět. Po dosažení předvolené měřicí síly měřicího doteku vydá elektronický systém měřicí hlavy signál pro záznam souřadnic. Měřicí systém obou typů hlav umožňuje měřit rovinné a křivé plochy. Za pohybu měřicí hlavy (která má měřicí dotek ve střední poloze) se tato pohybuje měřicí rychlostí a v okamžiku najetí měřicího doteku na výchozí plochu měřené součásti vydá elektronický systém měřicí hlavy povel k záznamu souřadnic měřeného bodu a k zastavení pohybu měřicí hlavy. V okamžiku záznamu souřadnic měřeného bodu se měřicí hlavy pohybují měřicí rychlostí (DEA 8 mm/s) a teprve potom nastane brzdění pohybu měřicí hlavy až do jejího zastavení. Měřicí dotek se při dojezdu dále vychyluje ze střední polohy.

Elektronické měřicí hlavy snímají rozměr za pohybu měřicí hlavy a jsou většinou vybaveny elektrokotaktním měřicím systémem. Elektrokotaktní hlavy mají pouze jediný měřicí systém, který vyhodnocuje vychýlení měřicího doteku v libovolném směru buď poloprostoru (pětisměrná hlava) nebo celého prostoru (šestisměrná hlava). Hlavními výrobci těchto měřicích hlav jsou firmy DEA a Renishaw. Výhodou těchto hlav je jednoduchost, robustnost a nízká cena.

Měřicí hlavy pro spojitě snímání tvarových úchylek obecných ploch a křivek, které se vyskytují při kontrole tvarů karoserií, modelů, zápustek atd., musí být speciální konstrukce (např. TL 3 M DEA). Měřicí hlava má servopohony, které reagují na výchylku měřicího doteku z nulové polohy. Servopohony měřicí hlavy jsou v jednotlivých souřadných osách řízeny tak, aby měřicí dotek udržoval neustále kontakt s měřenou plochou. Pokud výchylka doteku přesáhne pracovní rozsah měřicí hlavy, dochází k přestavení měřicí hlavy servopohony měřicího stroje.



4.1.5. Měřicí sonda na obráběcím stroji

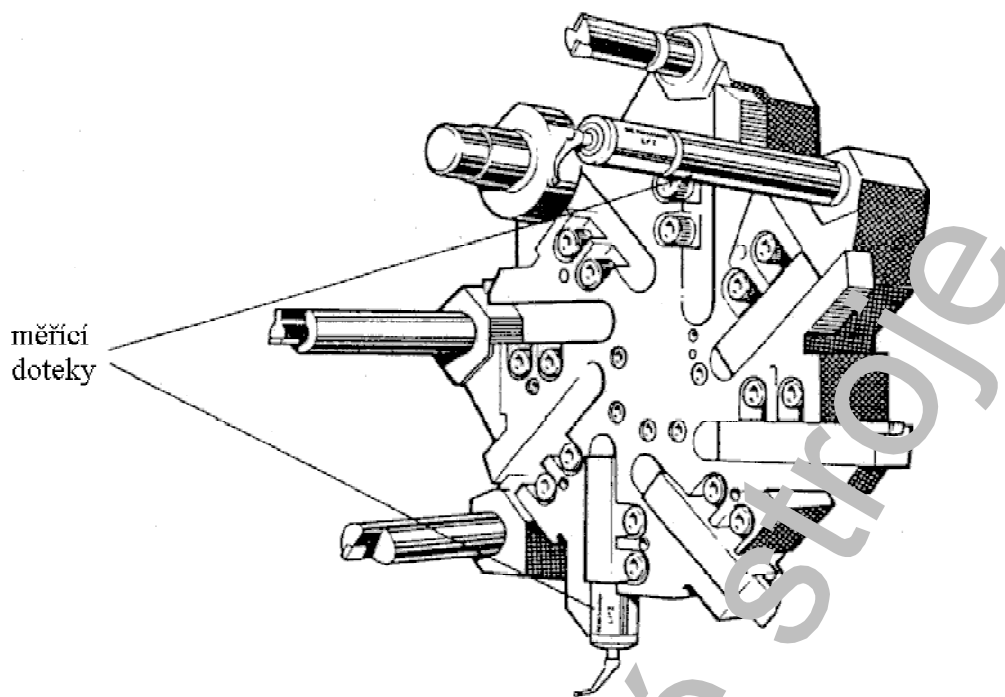
CNC obráběcí stroje mohou být vybaveny snímači pro sledování opotřebení a vylamování nástrojů a měřicími sondami pro aktivní kontrolu a případně zařízením pro automatické doladování nástrojů. Uvedená zařízení slouží ke kontrole geometrických prvků, které mají rozměry ovlivněné seřizením a rozměrovým otupením nástrojů, tedy jedná se hlavně o průměry otvorů. Při tomto uspořádání se ušetří měřicí operace na SMS a transport obrobků na kontrolní pracoviště. Podle zásad pro přesnost měření v tomto případě není dodržen požadavek, aby přesnost měřicího zařízení byla řádově vyšší než je přesnost výrobního zařízení, které je současně měřicím zařízením.

U měřicích sondy spínacího typu na obráběcím stroje je využíváno odměřovací zařízení vlastního stroje. Při tomto uspořádání nelze zjišťovat geometrické chyby obráběcího stroje a jeho odměřovacího systému, ačkoliv mají negativní vliv na přesnost obrobku.

V takovém případě je nutno porovnat požadovanou přesnost obrobku s pracovní přesností obráběcího stroje a navíc předběžně a v určitých časových intervalech kontrolovat vybrané obrobky na SMS.

Současné měřicí sondy na obráběcím stroji nevyhovují pro kontrolu tvaru a polohy geometrických prvků a nejsou vybaveny zařízením pro zpracování naměřených dat v takovém rozsahu jako SMS. Ve snaze využívat SMS v co největší míře je účelné slučovat na SMS kontrolu obou druhů geometrických prvků.

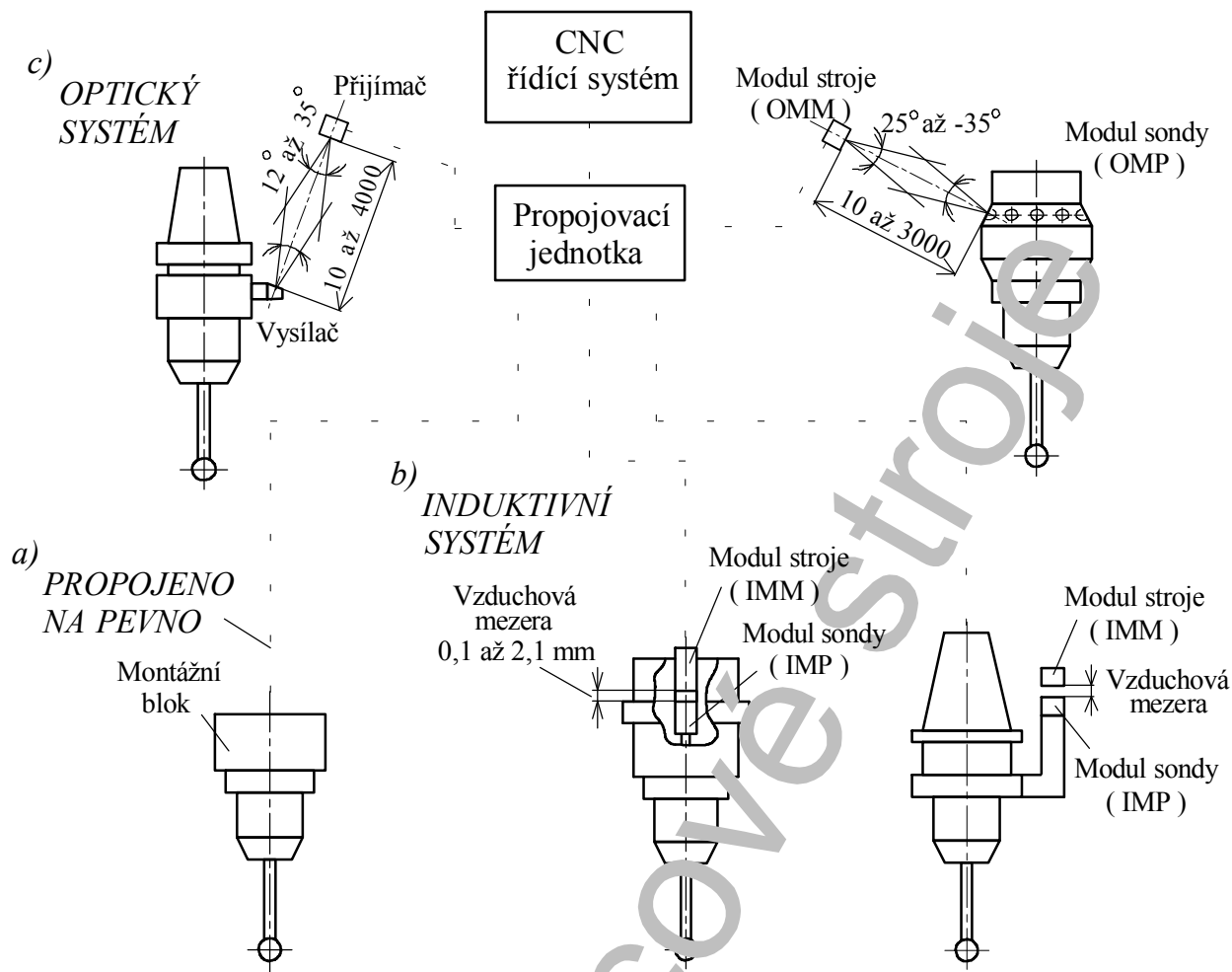
Používáním měřicích sond na obráběcích strojích není odstraněna potřeba SMS pro konečnou kontrolu. Měření na SMS při výstupu je zárukou pro vysokou přesnost výrobků a pro udržování stálé jakosti výroby. Zároveň je usnadněna integrace v rámci systému pro řízení jakosti.



4.1.6. Přenosové systémy měřicí sondy

Elektrické signály se přivádějí do měřicího nebo řídicího systému vícevodičovým stíněným kabelem uloženým v ohebné kovové trubce s povlakem z plastické hmoty, která jej chrání proti poškození. Symetrická konstrukce snímačů umožňuje jejich umístění tak, aby kabel k měřicímu nebo řídicímu systému mohl vycházet ze čtecí hlavy libovolným směrem.

Další možností propojení měřicí sondy s řídicím systémem je bezkontaktní propojení optické (infračervenými paprsky) nebo indukční. Tyto způsoby propojení se používají především u měřících sond umístěných na obráběcích stroji.



Přenosové systémy měřicí sondy :

- propojení na pevno vodičem (kabelem)
- induktivní systém přenosu
- přenos signálu infračervenými paprsky

4.2. Zařízení pro ustavení obrobku

Pro ustavení obrobku se používá zařízení, které se nazývá mikroseřizovací zařízení. Toto zařízení velmi usnadňuje vyrovnávání svislých rovin součástí s osami stroje. Použije-li se počítač není toto zařízení u stroje nutné.

Jako referenční bod ke zvolenému počátku se používá kalibrovací kostka nebo koule. Kostka musí být umístěna na měřicí desce vedle měřené součásti a vyrovnána s osami stroje.

4.3. Počítač

Další důležitou částí SMS je počítač. Zavedení SMS přineslo do technické kontroly výroby výrazné zlepšení, zvláště ve spojení SMS a počítače s patřičným vybavením. Programové vybavení počítače použitého ve spojení se SMS je souborem univerzálních a speciálních programů. Na rozdíl od NC strojů nejsou používány žádné univerzální systémy programování. Každý výrobce SMS používá vlastní systém, který je výsledkem vývoje. V posledních letech je však vidět tendence vedoucí k zjednodušení programování, tak aby nebyly velké nároky na znalosti obsluhy SMS při současném rozšíření možností měření.

Obecně můžeme programové vybavení SMS dělit na tyto programové soubory :

- operační systém včetně překladače z programovacího jazyka, obslužných a diagnostických programů a příslušné knihy programů
- programy pro styk člověka s počítačem
- aplikační programy

Pro volbu programového vybavení je rozhodující :

- jaké měřičské úlohy a měřičské operace má SMS vykonávat
- zda má mít uživatel možnost stávající programové vybavení upravovat a doplňovat, příp. počítač využít pro jiné účely

Podle typu operačního systému se mohou SMS dělit na :

- SMS s operačním systémem pro uživatele uzavřeným (většina výrobců - jednoduché)
- SMS s operačním systémem pro uživatele otevřeným (Bendix-Portage - pružné pro nové úlohy kontrolní techniky).

Progresivní programové vybavení má čtyři operační úrovně a pracuje se třemi operačními systémy. Je zde použit interaktivní jazyk, umožňující provést rychlý vývoj, odladění a modifikování aplikačních programů bez použití přídatných edičních, překládacích, spojovacích a zaváděcích fází. Výpočty a operace jsou prováděny buď jak odpověď na uživatelský příkaz nebo jsou vykonávány programem těchto příkazů.

U SMS se používají tyto počítače:

- *Programovatelné kalkulátory* - používají se pro přímé matematické výpočty potřebné k vyhodnocování měření na SMS.
- *Mikropočítače* - proti programovatelným kalkulátorům umožňují při vyšší výpočetní rychlosti provádět větší počet operací. Mikropočítač může zpracovávat naměřené hodnoty, řídit pohony, komunikovat s operátorem a vyhodnocovat hlášení chyb a provádět diagnostiku. Přes výhody se u SMS používají méně.
- *Minipočítače* - jsou nejvýkonnější počítače používané u SMS, často jsou vybavovány vlastním programovacím jazykem. Množství a druh přídatných periferních zařízení se volí podle zákazníka.

Soubor číslicově analogových obvodů, které pomocí pohonů řídí pohyb měřicí hlavy zadaný buď programem v počítači nebo ručně, nazýváme řídicí systém. Řídicí systém dělíme podle toho, jestliže počítač zajišťuje řízení pohybu po celou dobu jeho průběhu nebo jen v některých fázích:

- řídicí systémy s řízením v uzavřeném řetězci,
- řídicí systémy s řízením v otevřeném řetězci.

Řídicí systémy s řízením v otevřeném řetězci dávají počítači více času na provádění výpočtu (tento systém používá např. Opton, Mauser).

Řídicí systémy s řízením v uzavřeném řetězci používá firma Ferranti u strojů CORDAX.

Použití počítače u SMS je vyřešeno. Připadá v úvahu, jaký počítač si má zákazník objednat. Může to být jednoduchý kalkulátor, mikropočítač nebo mini- a střední počítač. Výběr závisí na požadované funkci a ceně počítače. SMS bez počítače je skoro bezcenný.

Uživatel SMS se především zabývá sestavováním uživatelských programů a jejich odladěním a aplikací na SMS. K této činnosti používá speciálního programovacího jazyka a dalších programovacích pomůcek. Program součásti sestavuje buď podle výkresu součásti nebo přímo při jejím měření použitím učicího programu a předepsaných výkresových tolerancí.

S výkonností používaných počítačů roste i výkonnost programového vybavení. Např. se zvětšuje počet bodů použitých k měření určitého geometrického tvaru, aplikují se náročná statistická vyhodnocení a zavádí se zpětné vazby na výrobní proces. Je užitečné, když

programátor pracuje i s programem, který je používán též pro řízení podniku, neboť můžeme aktuální otázky řízení a plánu výroby promítnou přímo do kontrolního programu. U SMS zůstává omezujícím faktorem jednoduchost obsluhy a snadnost přípravy programu pro komplexní proměření součástek.

4.4. Vybavení kooperačních strojů Somet Berox XYZ 464 B, XYZ 444 B

- Měřicí systém Ferranti ST3 50 L/mm
hlava BR 50 L/mm
- Snímací systém Renishaw - sestava zahrnující :
- držák PH 5/1
- sondu TP 2-5 W
- prodlužovací nástavce 50/100/150 mm
- kloub PK 1
- doteky PS 1R/PS, 2R/PS, 3R/PS, R4R/PS, 7R/PS, 9R/PS, 18R/PS, 19R/PS, 20R
- kloubový dotek SK 2
- prodlužovač doteků 10/20/30 mm
- utahovací klíče S3/7/8
- Výpočetní systém MICRO 900 s alfanumerickým displejem a programovatelnými tlačítky, pomocí kterých obsluha vyvolává jednotlivé měřicí programy a pracuje s nimi.

Standardní programové vybavení umožňuje řešit následující metrologické úkoly :

- prostorová transformace souřadnic
- výběr tří pracovních rovin
- měření bodu, souboru bodů, bodu souměrnosti, přímky, průsečíku přímek, kružnice, koule, roztečné kružnice otvorů - volba počátků (hlavních a vedlejších)
- kalibrace doteků (až do 25 doteků)
- příprava partprogramů, volba tolerancí, automatický zápis partprogramů a jejich opakování
- převod mm / palce bez ztráty reference, volba pravoúhlého či polárního souřadného systému
- kompenzace \emptyset doteků

5. MOŽNOSTI MĚŘENÍ NA SMS

SMS s univerzálním vybavením je možno používat pro měření jednotlivých bodů součástí, pro spojitě snímání neznámých tvarů a také pro spojitou kontrolu úchylek tvaru křivek. Ve všech případech je možno volit různé způsoby pohybu měřicí hlavy a různé provádění měření.

5.1. Přehled geometrických prvků, které lze kontrolovat na SMS

Základním krokem SMS je určení polohy snímaného bodu v souřadnicové soustavě měřicího stroje, tj. stanovení souřadnic tohoto bodu. Tento základní krok je východiskem pro určení vzájemné polohy sledovaných geometrických prvků, které tvoří povrch součásti.

Podle tvaru kontrolované součásti se volí pravoúhlá nebo polární souřadnicová soustava pro měření.

Počítačová technika s využitím matematických závislostí generuje povrch součásti na základě snímaných bodů a zabezpečuje kontrolu obrobků při minimálním počtu těchto bodů. Vyhodnocování naměřených hodnot a příprava řídicích programů pro CNC ovládané měřicí stroje je založeno na systému geometrických prvků, na které lze rozložit kontrolovanou plochu. Základní neohraničené geometrické prvky pro povrch jsou : přímka, rovina, válcová plocha, kuželová plocha, které lze popsat jedinou matematickou rovnicí. Ohraničené základní geometrické prvky jsou : bod, úsečka, kruhový oblouk, rovinná ploška, kužel, válec apod., které se lépe hodí pro matematické modelování kontrolovaného povrchu.

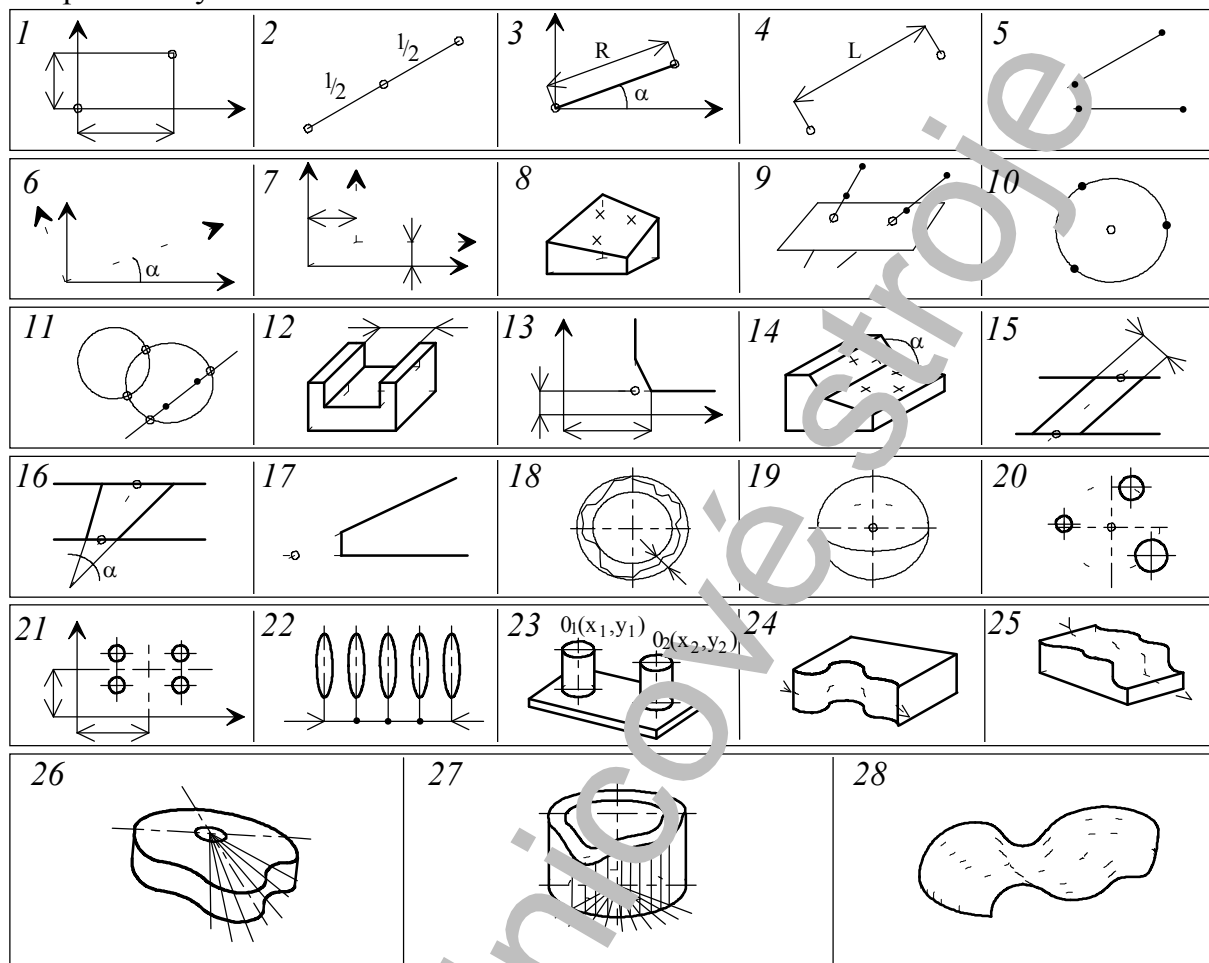
Tvarové plochy, které nelze rozložit na základní geometrické prvky, se zachytí pomocí vhodně volených bodů v minimálním počtu.

Na obrázku je výběr geometrických prvků, které jsou snímatelné na SMS, zároveň je vyznačen počet měřených bodů.

Na základě polohy vybraných bodů se určují průsečíky osy symetrie, vzdálenosti, tvary a vzájemná poloha např. při těchto možnostech :

- 1 - souřadnice bodu v rovině nebo v prostoru
- 2 - střed úsečky v rovině
- 3 - polární souřadnice bodu
- 4 - vzdálenost (rozteč) dvou bodů v obecné poloze v rovině
- 5 - průsečík dvou přímek v rovině
- 6 - poloha pootočené souřadnicové soustavy v rovině
- 7 - poloha posunuté souřadnicové soustavy v rovině
- 8 - obecná poloha roviny dané třemi body
- 9 - průsečíky dvou přímek s rovinou
- 10- poloha středu kružnice dané třemi body
- 11- průsečíky úsečky s kružnicí a průsečíky dvou kružnic
- 12- šířka drážky
- 13- poloha ideální hrany na obrobku se sražením
- 14- úhel dvou ploch
- 15- střed a šířka šikmé drážky
- 16- symetrála a úhel úkosové drážky
- 17- úhel klínu
- 18- úchylky kruhovitosti
- 19- střed kulové plochy
- 20- souřadnice středu kružnice, která prochází středy tří kružnic
- 21- souřadnice středu čtyř symetricky rozložených děr
- 22- dělení (rozteče)

- 23- poloha válcových čepů
- 24- tvarový obrys ve vodorovné rovině
- 25- tvarový obrys ve svislé rovině
- 26- tvar kotoučové vačky
- 27- tvar bubnové vačky
- 28- prostorový tvar



5.2. Měření jednotlivých bodů

Systém měření jednotlivých bodů je základní měřičský systém, který umožňuje sejmoutí prostorových souřadnic bodu na součásti. Měřicí hlava je přesné zařízení vydávající elektrický signál, když je měřicí dotek vychýlen ze své klidové polohy. Vychýlení může být v libovolném směru. Při měření se měřicí hlava pohybuje se svým dotekem směrem k součásti a v okamžiku dotyku se součástí v požadovaném bodě vydá signál, při němž dojde k zaznamenání prostorových souřadnic bodu na součásti.

Pohyb měřicí hlavy se ovládá ručně páčkami. Pro pohyb, při kterém má dojít k odměření souřadnic bodu na součásti (měřicí pohyb), je možno z panelu volit konstantní předem naprogramovanou rychlost. Pohyb je automaticky zastaven, když je bod odměřen. U plně automatizovaného ovládání pohybu měřicí hlavy je počítačové řízení pohybu (CNC). V tomto případě počítač řídí nejen ustavení měřicí hlavy, tak i měřicí pohyb, a to pomocí lineární interpolace ve třech osách. Počítač udržuje programem stanovenou rychlost, ale i předepsané zrychlení. K ovládání pohybu měřicí hlavy se také používá senzorové řízení. Toto řízení nahrazuje ruční pohyb měřicí hlavy. Zde je v držáku měřicí hlavy nasazeno čidlo citlivé na vychýlení ve všech třech souřadnicích. Vychýlením čidla do určitého směru dojde k pohybu, který trvá tak dlouho, dokud je rukou vyvíjen tlak na čidlo.

5.3. Spojité snímání neznámých tvarů

Systém spojitěho snímání neznámých tvarů je používán tam, kde mají být sejmuty zcela neznámé tvary (aut, forem, modelů), aby mohly být dále početně zpracovány. Měřicí hlava pro spojitě snímání je speciální elektronické zařízení vybavené vlastním odměřovacím zařízením se servopohony. Úkolem měřicí hlavy je stále udržovat měřicí dotek v kontaktu s měřenou součástí. Používá se měřicí dotek s citlivostí buď na axiální nebo radiální vychýlení (DEA Leonard).

5.4. Spojitá kontrola úchytky tvaru křivek

Systém spojitě kontroly úchytek tvaru křivek je podobný systému snímání neznámých tvarů. Při kontrole jsou teoretické křivky předem známé a zadané buď matematicky nebo sérií významných bodů. Výsledkem měření je porovnání teoretických a skutečných křivek.

Při provádění měření můžeme volit :

- přímé měření
- předprogramové měření
- automatické počítačem řízené měření (CNC)
- poloautomatické měření se senzory.

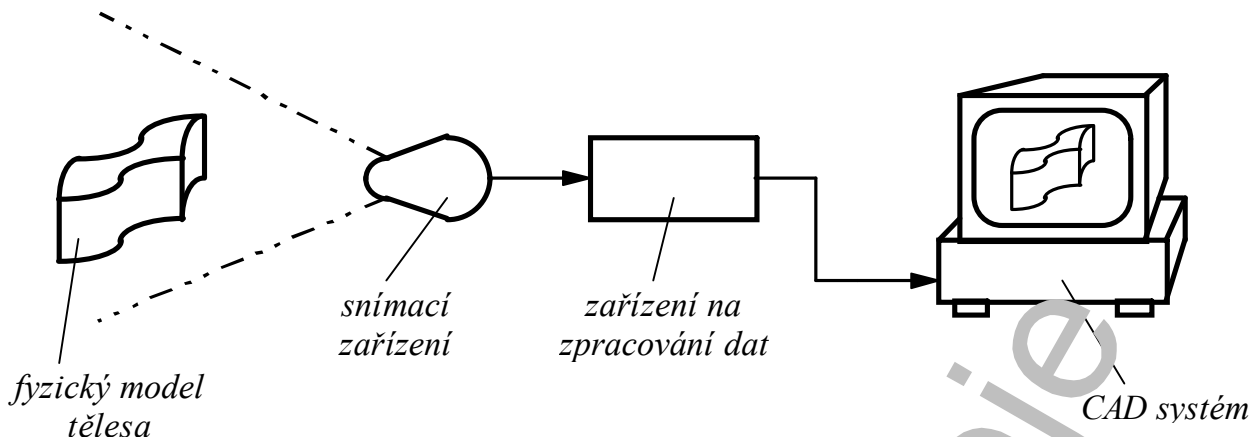
5.5. Měření na ručním a motorizovaném SMS

Ruční způsob je používán v omezeném rozsahu jen u takových měření, kde není předpoklad opakování. Další podmínkou je snadná přístupnost a viditelnost měřených ploch. Jestliže je nutné snímat měřené body "uvnitř součástky", kam není dobře vidět nebo jestliže se má dotek při měření pohybovat po prostorové přímce, která není rovnoběžná s osami stroje, je vždy výhodnější provádět měření na motorizovaném stroji podle programu. Jistě není bez zajímavosti, že pracovníci obsluhující tyto stroje provádějí i to nejjednodušší měření raději na motorizovaném stroji i přesto, že by to bylo technicky možné a přibližně stejně rychlé jako na ručním stroji. Každý z nich totiž po počátečních obavách z možnosti kolize při měření přišel na to, že i jednoduché měření na motorizované verzi je přesnější, pohodlnější a v některých případech i rychlejší.

Měření podle programu se provádí nejen v sériové výrobě, ale i v takových případech, když je pravděpodobné, že se bude v budoucnu opakovat, dále když zadavatel požaduje nestandardní výpočty. Program se po provedeném měření uloží na disketu, takže je kdykoliv v budoucnu okamžitě dosažitelný. Pokud byl zpracován pro motorizovaný SMS, je přímo použitelný na ručním SMS. Program zpracovaný pro ruční SMS může být na motorizovaném použit v ručním režimu bez úprav nebo může být doplněn polohovacími příkazy a použit v NC režimu.

5.6. Scanování

Scanování těles je proces přenosu fyzických modelů těles do grafického systému - CAD systému. Scanováním se rozumí snímání bodů (popř. křivek) z povrchu tělesa. Další termín užívaný pro scanování je digitalizace. Proces digitalizace je znázorněn na obrázku.



Výsledným produktem scanování je datový soubor v grafickém formátu udávající veškeré informace o tvaru tělesa - digitalizovaný model tělesa. Pro přenos mezi různými nekompatibilními systémy se používají standardní grafické formáty jako např. IGES, VDA, DXF.

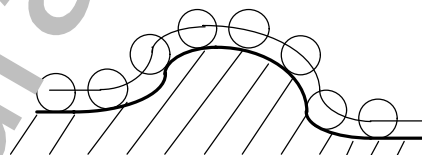
Snímacím zařízením umožňujícím získat souřadnice bodů v prostoru může být kromě souřadnicových měřících strojů také přímkové nebo bodové scanovací lasery, Moire interferometry, fotometrické systémy, samostatné bodové lasery nebo dotykové sondy, sondy umístěné na robotu, a ultrazvuková nebo infračervená 3D pera.

Zařízení na zpracování dat přímo navazuje na snímací zařízení. Data udávající souřadnice bodů na povrchu tělesa, popř. matematické vyjádření křivek sejmutých z povrchu tělesa, jsou zde zpracovány do podoby umožňující vstup do konkrétního CAD systému nebo do standardního grafického formátu. Některé firmy dodávají jako součást CAD systému moduly na zpracování scanovaných bodů - surface reconstruction. Tyto moduly umožňují eliminaci rozptýlených bodů, prokládání křivek body, vytvoření ekvidistant ploch apod.

5.6.1. Scanování těles na souřadnicových měřících strojích (SMS)

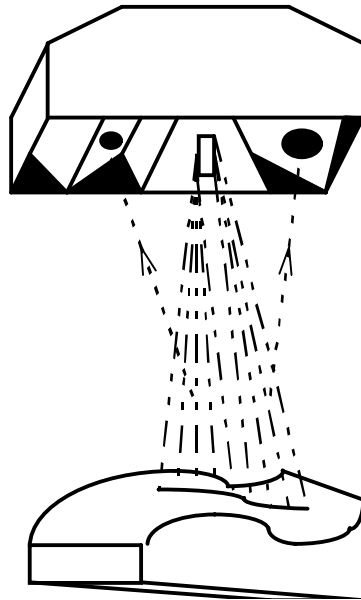
Těleso umístěné v pracovním prostoru SMS je snímáno měřícími sondami upevněnými v hlavě SMS. SMS mohou být ovládané ručně nebo strojně.

Měřící sondy mohou být dotykové nebo bezdotykové. Výsledkem měření kontaktními sondami je síť bodů, jimiž proložená plocha je ekvidistantou ke skutečné ploše snímaného tělesa. Obě plochy jsou od sebe vzdáleny o poloměr kuličky měřícího doteku.



Na tuto skutečnost je třeba pamatovat při zpracovávání bodů v CAD systému.

Naproti tomu body změřené bezdotykovými sondami odpovídají bodům ležícím na povrchu snímaného tělesa. Příkladem bezkontaktní měřící hlavy je laserová sonda. Tyto sondy mohou snímat jednotlivé body nebo více bodů současně, což výrazně zvyšuje rychlost scanování.

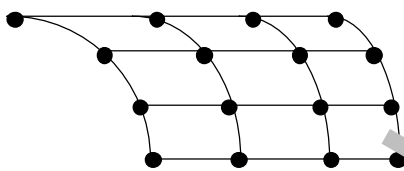


Rychlost scanování takovou sondou může být až 10 000 bodů/sec s přesností 0,025 mm.

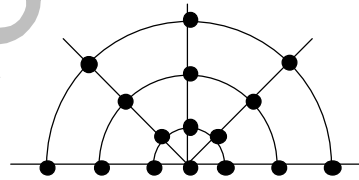
Laserové měřicí sondy rovněž umožňují snímat složité vnitřní plochy. Systém pracuje se speciální sondou vloženou do snímané dutiny. Sonda disponuje pracovním rozsahem 360°.

5.6.2. Scanování těles sondami umístěnými na robotu

Princip scanování těles robotem je podobný jako u scanování na SMS. Poloha bodů zde však není dána přímo souřadnicemi X,Y,Z, ale transformuje se ze strojních (vnitřních) souřadnic udávajících polohu členů kinematického řetězce - tzv. přímá úloha polohy (PÚP). Řešením přímé úlohy polohy lze získat síť bodů ležících na povrchu tělesa.



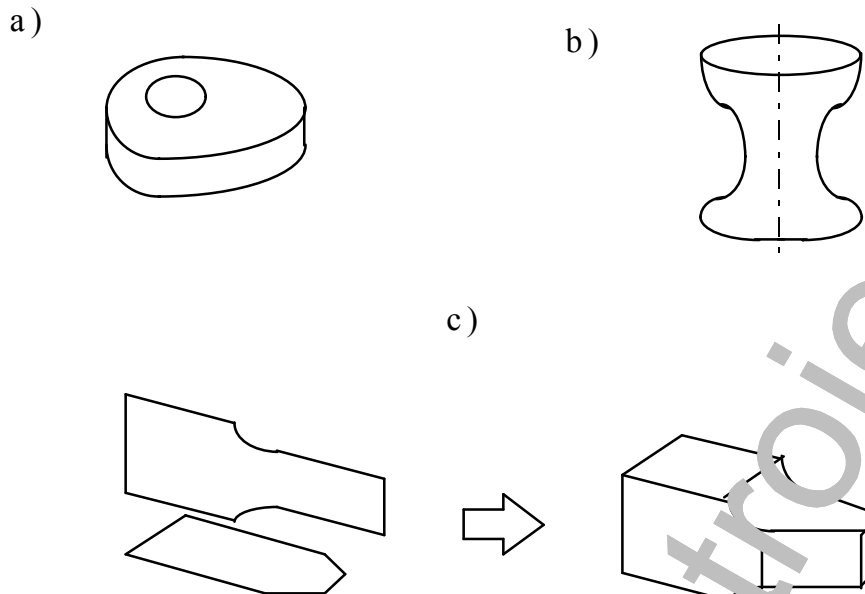
a) *Obdélníková síť na válcové ploše*



b) *Polární síť na rovné ploše*

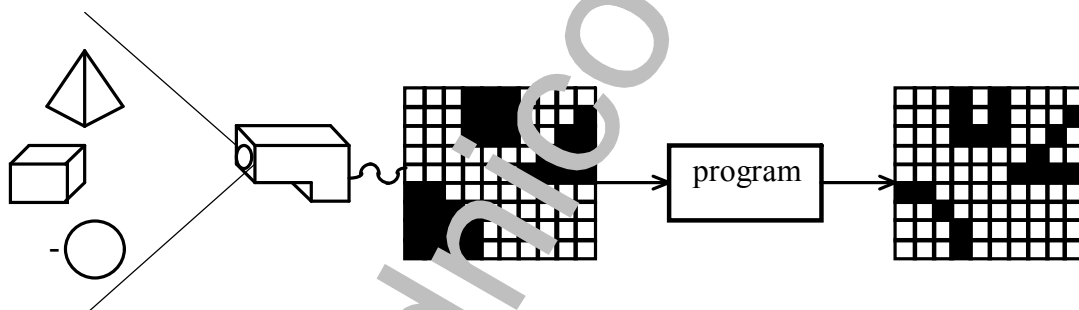
5.6.3. Vision systém

Vision systém je optický systém využívající jako snímací zařízení kameru. Tento systém je schopen rozlišit pouze hrany snímaných těles. Na rozdíl od předchozích způsobů není schopen rozpoznat třetí rozměr tělesa - hloubku. Typy těles měřitelných touto metodou jsou ukázány na obrázku.



Snímání a vyhodnocování objektu může probíhat v následujících krocích :

- thresholding
- zprůměrování
- zvýšení kontrastu
- rozpoznání hran
- přímková reprezentace



Thresholding může být použit při čelně osvětlené scéně, kdy jsou hodnoty jednotlivých bodů (pixelů) od 0 do 255 změněny na binární hodnoty 0 a 1 (černá a bílá). Tento proces probíhá tak, že program vybere pixel jehož hodnota je určena jako referenční. Všechny pixely s hodnotou menší nebo rovnou referenční hodnotě jsou označeny jako černé a pixely s hodnotou vyšší než referenční jsou označeny jako bílé.

Zprůměrování se používá k odstranění chyb v sejmuté scéně. Program nahradí hodnoty jednotlivých pixelů průměrnou hodnotou vypočítanou v okolí 3x3. Jsou-li chyby v osamocených pixelech, zprůměrováním se zcela odstraní.

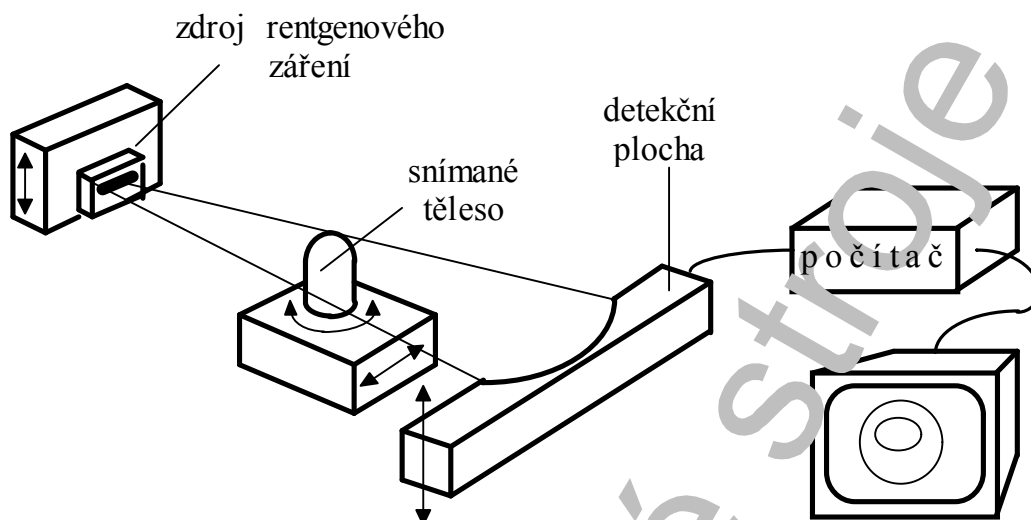
Zvýšením kontrastu se zlepšit čitelnost scény.

K *rozpoznávání hran* jsou používány různé způsoby (např. Robertsův gradient, Prewittova detekce hran, Sobelova detekce hran). Principem je rozpoznávání odlišností mezi hodnotami pixelů a hodnotami v jejich okolí. Čím větší odlišnosti, tím větší pravděpodobnost, že pixel je část hrany.

Přímková reprezentace vychází z rozpoznávaných hran objektu. Problémem zde je, že hrany nejsou vždy kompletní. K vytvoření kompletních přímek se používají různé algoritmy.

5.6.4. Počítačová tomografie

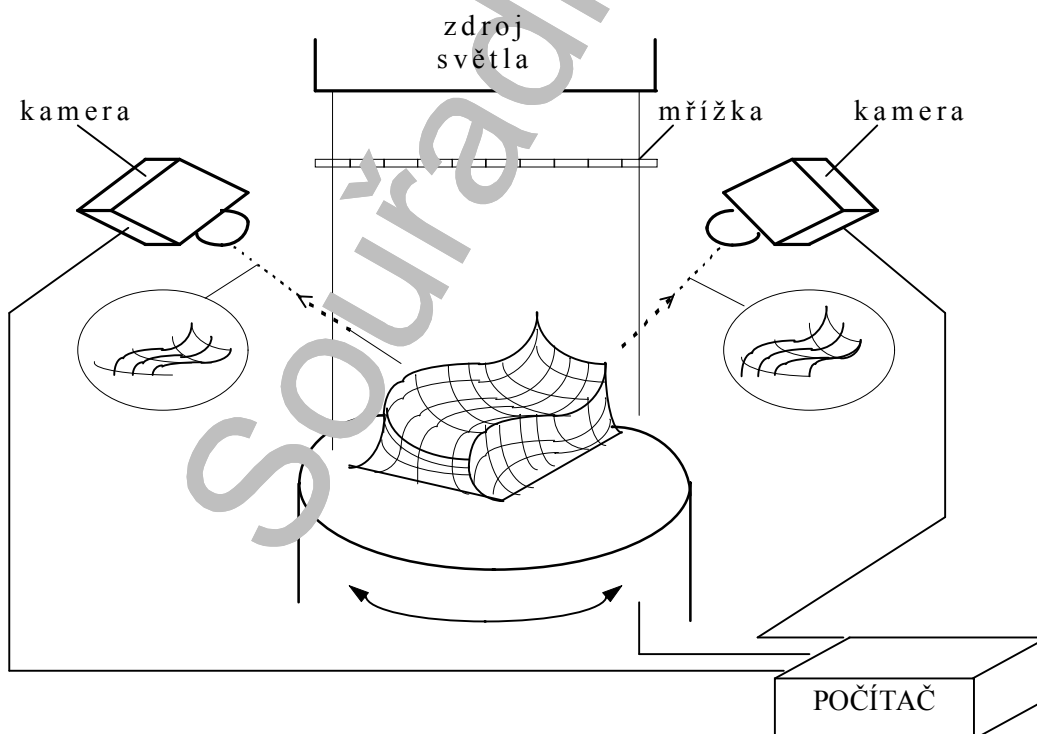
Počítačová tomografie je využívána ke scanování těles tvořených geometrickými plochami, které nejsou přístupné běžným měřicím sondám (např. lopatky turbín, vrták). Běžně užívaná tomografie v lékařství zobrazuje snímané části plošně. Avšak v současnosti je možné získat objekt jako prostorový digitalizovaný model. Princip počítačové tomografie je ukázán na obrázku.



Snímané těleso je postupně scanováno a otáčeno kolem svislé osy, tak dlouho, až se otočí o 180° . Data získaná na detekční ploše v každé poloze jsou zpracována v počítači. Tím je určen jeden rovinný řez tělesem. Poté se zdroj rentgenového záření posune synchronně s detekční plochou ve vertikální ose, a je snímán další řez tělesem. Ze všech získaných řezů se v počítači vygeneruje 3D model tělesa.

5.6.5. Moiré interferometry

Metoda scanování těles Moiré interferometry patří k bezdotykovým optickým metodám. Je určena ke snímání složitých vnějších ploch. Princip je ukázán na obrázku.



Snímané těleso je rovnoměrně osvětleno přes mřížku. Na tělese vznikne optický obraz mřížky deformovaný povrchem. Obraz mřížky vytvořený na povrchu tělesa je snímán dvěma kamerami. Těleso je postupně natáčeno, až o 360°. Z křivek mřížky sejmutých kamerami, z úhlů natočení tělesa, a ze vzájemného umístění a natočení kamer je v počítači vypočítán tvar tělesa.

Souřadnicové stroje

6. POŽADAVKY NA SMS

Přesnost SMS 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 SMS je ovlivněna dílčími nepřesnostmi.

6.1. Zdroje chyb při měření

U souřadného systému :

- deformace stroje
- chyby přímosti
- chyby kolmosti
- tření
- vůle

U snímacího systému :

- linearita
- hystereze
- životnost
- stabilita nulového bodu

U měřícího doteku :

- průhyb
- chyby tvaru.

U měřené součásti

- povrch
- hmotnost

U odměřovacího systému :

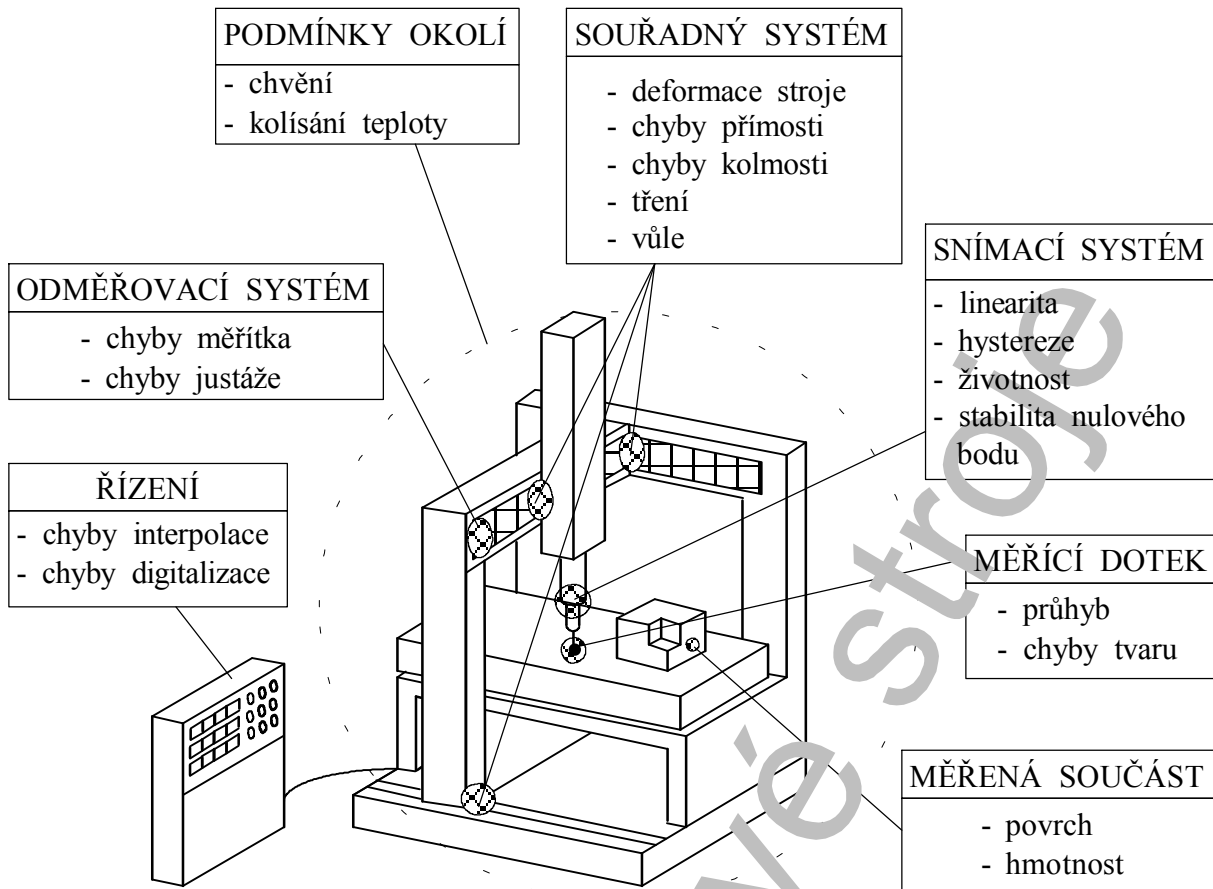
- chyby měřítka
- chyby justáže

U řízení :

- chyby digitalizace

Podmínky okolí :

- chvění
- kolísání teploty



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

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

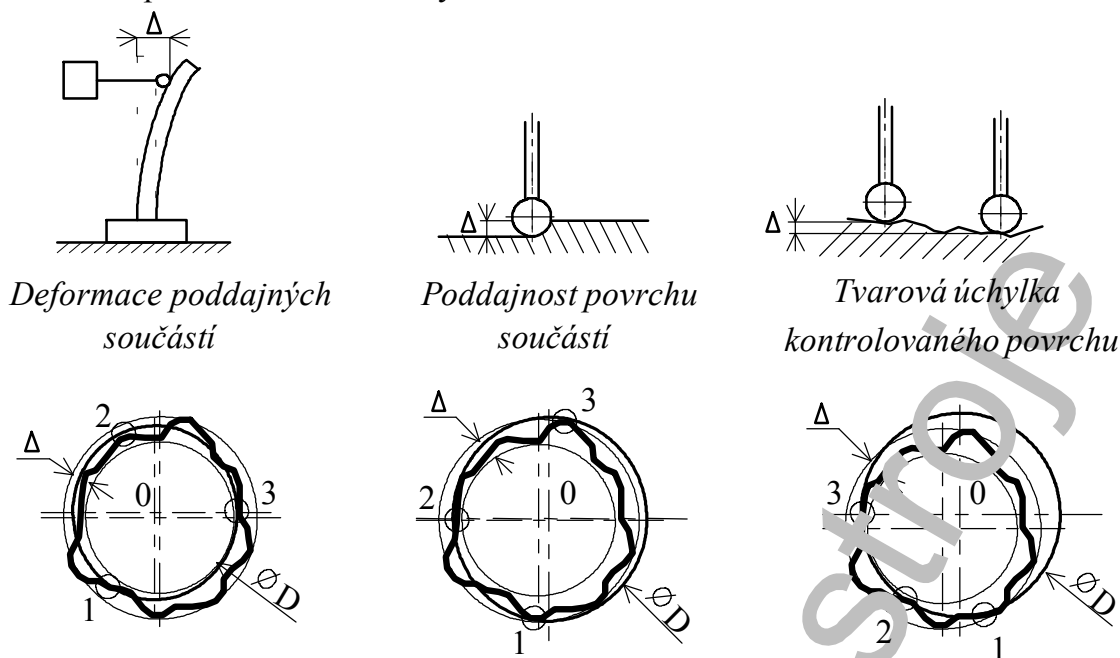
6.2. Přesnost SMS

Dosud neexistuje jednotný systém vyjadřování přesnosti měření na SMS ani mezi výrobci, ani v ISO nebo ČSN. Praxe však potvrzuje, že otázka přesnosti měření na SMS je skutečně složitá. Lze prohlásit, že výsledná přesnost se mění případ od případu a lze ji konkrétně zjistit a prokázat pouze jako pravděpodobnou chybu měření aritmetického průměru řady opakovaných měření, jakožto výsledku určitého měření zadaného měřeného objektu a zvolené měřicí metody;

- *opakovatelnost* je schopnost SMS dávat při opakování měření pokaždé stejnou odpověď;
- *výkonnost* je podíl času po který stroj měří daný rozměr v rámci svých mezí přesnosti.

Na přesnost, opakovatelnost a výkonnost má kromě typu SMS vliv i jeho konstrukční provedení.

Ovlivnění přesnosti měřicí sondy:



Vliv měřicí strategie (volba bodů 1, 2 a 3) na změřenou polohu středu O a velikost průměru díry D při stejné úchlce kruhovitosti Δ

6.3. Kontrola přesnosti snímacích hlav

Snímací hlavou elektrokontaktního typu se rozumí výměnné snímací zařízení, upínané do pinoly souřadnicového měřicího stroje, včetně napájecí a vyhodnocovací elektronické části. Hlava nemá vlastní měřicí systém a výstupní signál je pouze změna stavu.

Popis jednotlivých zkoušek :

Měření sil

- a/ osová síla F_o působící ve směru osy hlavy
- b/ měřicí síla F_m působící kolmo k ose

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

Měření dráhových charakteristik

Všechny charakteristiky přesnosti jsou zjišťovány ve směru dráhy snímacího elementu.

Necitlivost snímací hlavy

Necitlivost snímací hlavy je dráha, kterou musí snímací element urazit od okamžiku prvního dotyku, po okamžik generování signálu snímací hlavy.

Stabilita referenčního bodu

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

Stabilita referenčního bodu je rozdíl poloh středu snímacího elementu v klidovém stavu po předchozím vychýlení snímacího doteku a jeho samovolném vrácení do klidového stavu.

Pro měření dráhových charakteristik se použije laserinterferometr s rozlišovací schopností $0,1 \mu\text{m}$. Při měření musí být splněn Abbého princip.

Celková přesnost snímací hlavy

Celková přesnost snímací hlavy je popsána nejistotou snímání, která je dána vztahem

:

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

kde:

Δk - odchylka kruhovitosti snímacího elementu,

s_s - střední směrodatná odchylka stability referenčního bodu,

s_n - střední směrodatná odchylka

s_r -

6.4. Chyby měření v pracovním prostoru SMS

V souvislosti s využíváním souřadnicových měřících strojů je nutno si uvědomit, že ani SMS není schopen měřit skutečné hodnoty, ale každé měření v pracovním prostoru SMS je zatíženo chybou. Naměřená hodnota je tedy přibližnou hodnotou skutečné veličiny. Matematické vyjádření chyby měření je dáno rovnicí:

$$\begin{array}{rcl} \text{chyba měření} & = & \text{naměřená hodnota} - \text{skutečná hodnota} \\ \Delta & = & x - X \end{array}$$

Z obecné teorie měření nás zajímají především chyby systematické a chyby náhodné. Systematické chyby se vyznačují tím, že mají znaménko + nebo -. Systematičnost pak můžeme odhalit přesnějším měřením. Systematické chyby zkreslují výsledek měření pravidelným způsobem. Pravidelnost systematických chyb nám umožňuje brát je v úvahu (kromě chyb vyplývajících z omezené přesnosti) a vyloučit je z výsledku měření korekcí i když měření provedeme jen jednou.

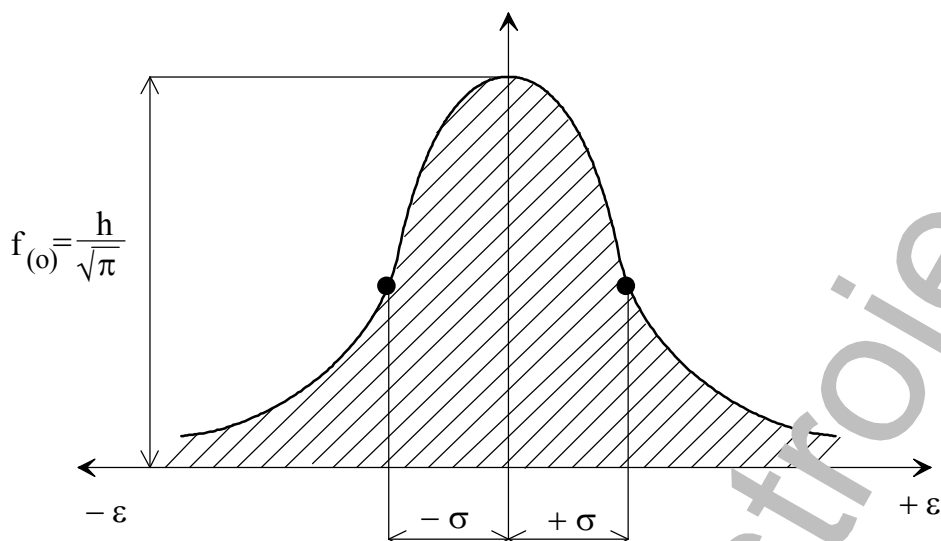
Chyby náhodné jak samotný název napovídá, jsou dílem náhody. Náhodnou chybu nemůžeme zjistit jediným měřením. Chyby systematické i náhodné ovlivňují podstatnou měrou přesnost měření v pracovním prostoru SMS. Abychom si udělali představu o vlivu náhodných chyb na přesnost měření v pracovním prostoru SMS, zvolíme takové matematické nástroje, které nám umožní určit meze, ve kterých se pohybují náhodné chyby. Přesto, že náhodné chyby jsou dílem náhody, pak se zvětšujícím se počtem měření jedné veličiny se projeví určitá zákonitost. Kdybychom jednotlivá měření téže veličiny provedli několikrát a výsledky seřadili do intervalů (tříd - ČSN 01 0250), pak si můžeme graficky vyjádřit histogram relativních četností měřené veličiny. Zákonitost četností v intervalech má zvláštnosti v tom, že interval obsahující střední hodnotu \bar{X} (aritmetický průměr měření) má největší absolutní (n_i) a relativní ($f_i = \frac{n_i}{n}$) četnost. Absolutní i relativní četnosti pak klesají napravo i nalevo od intervalu x . Z toho můžeme dále vyvodit, že:

- četnost kladných a záporných chyb je přibližně stejná
- četnost chyb menších je větší než četnost chyb větších

Abychom mohli dále matematicky charakterizovat zákon rozdělení chyb, nahradíme histogram spojitou zvonovou křivkou, u které na osu x vynášíme skutečnou chybu ε a na osu y funkci $f(\varepsilon)$. Toto spojitě rozdělení náhodné veličiny, kterou je skutečná chyba se nazývá normální zákon chyb (Gaussova křivka). Funkce křivky je vyjádřena rovnicí:

$$f(\varepsilon) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - X}{\sigma} \right)^2}$$

Grafické vyjádření funkce z této rovnice je uvedeno na obrázku :



V souřadnicích $+\sigma$, $-\sigma$ (viz. obr.) jsou inflexní body. Parametr je směrodatná odchylka (má význam chyby). Čtverec směrodatné odchylky se nazývá rozptyl (σ^2). V uvedené rovnici se v exponentu vyskytuje pravá hodnota měřené veličiny (X), kterou můžeme vyjádřit pomocí odchylek v . Odchylka $v_i = x_i - \bar{x}$. Při matematickém zpracování a úpravách vycházíme z předpokladu, že součet odchylek ve skupině měření (náhodný výběr) je roven nule. Pak platí :

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i = \sum_{i=1}^n (x_i - X) = \sum_{i=1}^n x_i - n \cdot X \Rightarrow X = \bar{x} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i$$

$$v_i = (x_i - \bar{x}) = x_i - \left(X + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \right) = (\varepsilon_i + X) - X - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i = \varepsilon_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i$$

Součet čtverců odchylek :

$$v_i^2 = \left(\varepsilon_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \right)^2$$

Vyjádříme si součet čtverců odchylek (v úpravě zanedbáváme součiny $2 \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2, \dots$) :

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \cdot \frac{n-1}{n}$$

Další úpravou dostaneme :

$$n \cdot \sum_{i=1}^n v_i^2 = (n-1) \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2$$

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

Parametr s je výběrová směrodatná odchylka (nemůžeme zaměňovat směrodatnou odchylkou σ) a charakterizuje variaci výsledků téže měřené veličiny pro sérii n měření. Pokud v rovnici vyjadřující Gaussovu křivku nahradíme exponent výrazem :

$$t = \frac{\bar{x} - X}{\bar{s}} = \frac{\bar{x} - X}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

dostaneme "studentovo rozdělení ". Interval spolehlivosti, obsahující X lze vyjádřit pomocí krajní chyby :

$$\kappa_{\alpha,n} = t \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Skutečný výsledek měření pak bude :
výsledek měření = $\bar{x} \pm \kappa_{\alpha,n}$

Kritické hodnoty t_{α} pro zvolené α nebo P (pravděpodobnost) jsou tabelovány. Krajní chyby pro jedno měření v podstatě odpovídají maximální chybě. Tyto dílčí matematické úvahy nám poskytly i nástroje jak "náhodné chyby" v prostoru SMS počítat.

Výstupní kontrola SMS (DEA - Itálie)

Souřadnicové měřicí stroje se zvýšenou přesností podléhají speciální kontrole výrobce. Kontrola se člení do těchto oblastí:

1. Geometrická kontrola
2. Statistická kontrola chyb (osa x,y,z)
3. Dynamická kontrola opakovatelnosti snímacího systému

6.5. Kalibrace souřadnicových měřicích strojů

Samotná moderní měřicí technika nemůže splnit úkol primární metrologie bez důsledně vypracovaných měřicích postupů, bez zajištění návaznosti na mezinárodní etalon délky, bez kvalitního software a vyhodnocovací techniky. Další nutnou podmínkou primární metrologie jsou dobře vybavené laboratoře s kvalitní klimatizací, neboť především změny teplot nejvíce ovlivňují výsledky měření délek, rozměrů, tvarů a polohy měřených objektů.

Sledováním výzkumu v oblasti tříosých souřadnicových strojů s cílem poznat teoretické zákonitosti, způsobující nejistoty měření, najít optimální a pro ČR jednotnou cestu ke kalibraci těchto strojů se zabývá Český metrologický institut (ČMI). ČMI používá švýcarský tříosý měřicí stroj CMM5 firmy SIP s měřicím rozsahem 710 x 550 x 550 mm, s rozlišitelností 0,1 μm a přesností $(0,3 + 0,4 L) \mu\text{m}$, který je z této kategorie SMS nejpřesnější v České republice. U tohoto stroje byla provedena mezinárodní kalibrace expertem a metodikou z PTB Braunschweigu, SRN. Ke stroji CMM5 má ČMI dále k dispozici ověřovací tělesa Ball plate, stupňovitou měрку a stavební prvky WITTE, které umožňují v prostoru stroje jednoduše, rychle, bez pomoci speciálních přípravků umístit pro měření tvarově složitě součásti (především z oblasti automobilového průmyslu) a dále různé druhy tvarově odlišných kalibrů - podnikových etalonů (kalibry kolmosti, koule, válce, asférické optické čočky apod.).

Měřicí stroj CMM5 - SIP plní v současnosti několik funkcí :

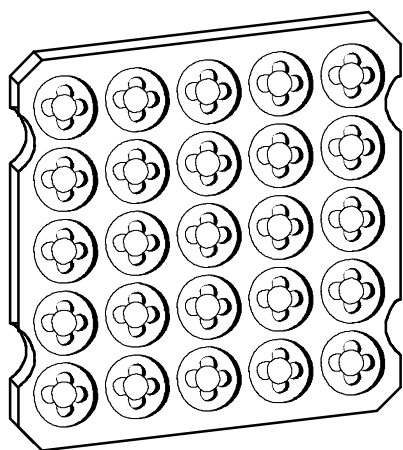
- a) Slouží ke kalibraci zkušebních těles (Ball plate).

- b) Jsou na něm proměřovány podnikové kalibry a tvarově složité součásti.
- c) Slouží k výzkumu v oblasti souřadnicové techniky.

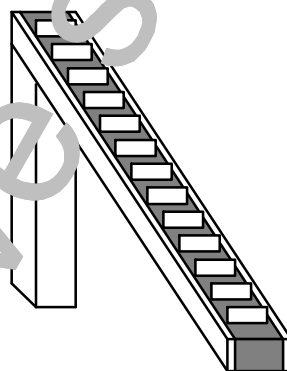
6.5.1. Zajišťování kalibrace SMS

Největší německé firmy Bosch, Zeiss, Leiz, VW, Mercedes a další používají jednotnou metodiku kalibrace PTB v Braunschweigu. Z těchto důvodů se ČMI snaží navazovat na jejich zkušenosti a rozhodl se metodiku z PTB převzít.

V roce 1996 proběhla kalibrace laserového interferometru (rozlišitelnost 1 nm, relativní přesnost s refraktometrem je $5 \cdot 10^{-7}$) pomocí státního etalonu, kterým je He Ne I_2 laser, který je každoročně porovnáván s mezinárodním etalonem v BIPM Paříži. V témže roce byl dále získán kalibrační certifikát na ověřovací těleso s koulemi Ball plate (dvourozměrná nejistota je dána vzorcem $u_{xy} = 0,9 \mu\text{m} + 1,1 \cdot 10^{-6} \cdot L$).



Ball plate



Stupňová měřka

Metodika používaná v PTB Braunschweig (SRN) využívá rovinných kalibračních těles s koulemi nebo otvory (Ball resp. Hole plate), přináší informace o jednotlivých komponentách nejistot i celkové nejistotě stroje a zároveň i informace o nejistotě mechanického doteku. Dále se používají pro kalibraci tříosých strojů laserové interferometry, které jsou zatím nejpřesnějšími délkovými přístroji (rozlišitelnost 1 nm). Laserové interferometry se používají k úhломěrné a výškové metodě měření přímosti, metodě měření kolmosti, rovinnosti a další. Je třeba ale zdůraznit, že měření laserovými interferometry v prostoru SMS jsou časově náročná a nesplňují v některých případech předpisy ISO a doporučení VDI, VDE a DGO.

6.5.2. Teoretická analýza zjišťování nejistoty měření

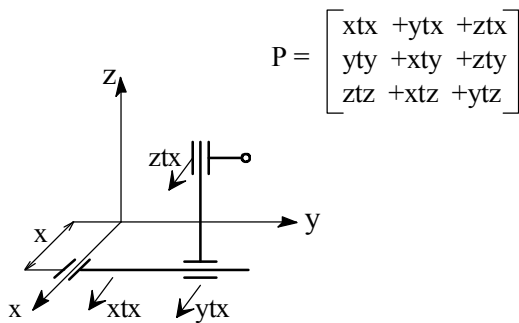
Ze souřadnic bodů snímaných SMS se matematickým algoritmem pomocí počítače vypočítají hledané parametry (např. průměr, vzdálenost mezi rovinami a otvory, odchylky boků zubů). Tyto parametry je tedy třeba vzít za základ při kalibraci a ne jednotlivé body měření. Kalibrace pomocí SMS proto podle definice znamená určit nejistoty měření těchto parametrů. Je zřejmé, že kvůli rozmanitosti měřicích úkolů, není u SMS možná paušální kalibrace jako u jednoduchých měřicích prostředků. Navíc jsou vlastní odchylky daleko komplexnější, neboť se skládají z řady různých komponent.

Ve stručnosti lze dílčí nejistoty, ovlivňující výslednou nejistotu měření (přesnost stroje) kategorizovat na :

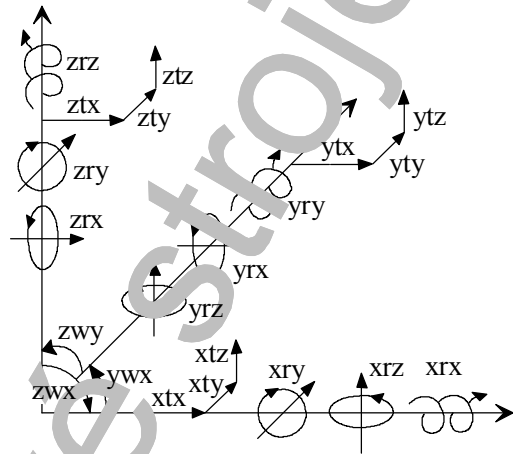
- nejistoty prostorové geometrie

- nejistoty matematického a statistického vyhodnocení
- nejistoty mechanického doteku
- nejistoty, způsobené nekorigovanými vlivy teploty

Z nich potom některé jsou zjistitelné systematické odchylky - jako např. 21 odchylkových komponent souřadnicového stroje (pro jednu osu 6 komponent : Dx,Dy,Dz,Dj,Dy, Du krát 3 = 18 a k nim se přidruží 3 komponenty odchylky kolmosti souřadnicových os x,y,z kartézského souřadného systému). Na obrázku je ukázán mechanický model SMS a dílčí komponenty nejistot.



Mechanický model SMS



Grafické znázornění komponent nejistot
 Komentář : např. zty je translační změna y v závislosti na z, xry je rotace kolem osy y v závislosti na x, zwx je kolmost x a z

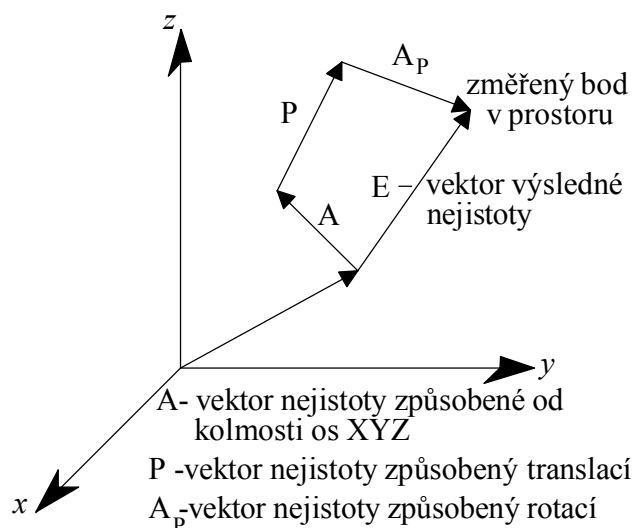
Další systematickou nejistotou je nejistota doteku. K těmto systematickým nejistotám se pak řadí náhodné nejistoty doteku, interpolační nejistoty, nejistoty způsobené dynamickými vlivy, hysterézními efekty atd.

Uvedené nejistoty se určují se určují laserovými interferometry nebo pomocí hmotných etalonů (Ball plate, Hole plate).

Experimentem získané údaje lze vložit jako data do matematické analýzy. Vektor výsledné poziční nejistoty je :

$$\mathbf{E} = \mathbf{P} + \mathbf{A} \times \mathbf{X} + \mathbf{A}_p \times \mathbf{X}_p.$$

Je třeba zdůraznit, že stanovení jediné komponenty, např. úhlové odchylky $\Delta\phi$ v závislosti na poloze (v matici je to pouze člen yrz což je rotace kolem osy z v závislosti na poloze y) je časově náročný proces, podmiňovaný nejen vybavením přídatnými optickými prvky k laserovému interferometru, nebo tělesem Ball plate, ale i software a v neposlední řadě zvládnutím metodiky měření a vyhodnocování.



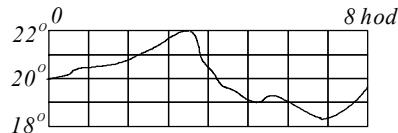
6.5.3. Výsledky kalibrace

Výsledkem kalibrace je kalibrační list s doložením návaznosti na mezinárodní etalon délky. Ve výroku o zkoušce je udána výsledná nejistota měření kalibrovaného SMS pro celý měřicí prostor ve formě rovnice přímky nebo konstanty ($\delta_{(\pm 2\sigma, 95\%)} = (1,5 + L/1000) \mu\text{m}$). Součástí kalibračního listu je protokol o měření s detailními výsledky měření : číselné i grafické výsledky odchylek od kolmosti os X,Y,Z, matematické i grafické zpracování nejistoty měření v závislosti na délce jednotlivých os i celého prostoru.

6.6. Parametry SMS Somet Berox 464B

PRACOVNÍ PROSTŘEDÍ SMS

Teplota : $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$



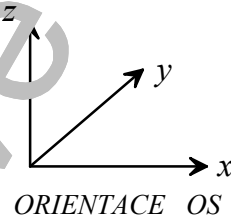
Prostředí : bezprašné, suché, bez otřesů

PARAMETRY

Rozsahy souřadnic : x 400 mm
 y 600 mm
 z 400 mm

Přímost osy x, y, z : 0,004 mm

Kolmost osy x k rovině yz
 y k rovině xz
 z k rovině xy } 0,006 mm



Nejistota měření v ose x : $\frac{4 + L [mm]}{150} [\mu\text{m}]$

y : $\frac{5 + L [mm]}{150} [\mu\text{m}]$

z : $\frac{3 + L [mm]}{150} [\mu\text{m}]$

Max. hmotnost měřené součásti : 150 kg

Hmotnost stroje : 550 kg

7. APLIKACE SMS

Jsou-li NC stroje řízeny počítačem a jsou uspořádány do obráběcích center, pak je možno zařadit souřadnicový stroj do tzv. *měřicího centra*. S takovým měřicím strojem přišla na trh italská firma DEA. Vyrábí jej ve třech různých možnostech automatizace. Vrcholem je typ SIGMA D 2 - AUTO 3, kde je automaticky prováděna výměna potřebných snímačů a kde všechny měřicí a kontrolní operace jsou prováděny buď na základě děrných pásků nebo počítačem.

Velké uplatnění našly v provozu též *proměřovací přístroje*.

Pro aktivní kontrolu na obráběcích centrech místo souřadnicového měřicího stroje se také používá *zařízení CEJMATIC*, které vyrábí švédská firma Johansson. Zařízení je zvláště vhodné pro obrábění velkých obrobků, jejichž transport od výrobního stroje na měřicí stroj je velmi obtížný a kde působí velké potíže i nutná přesnost upnutí po provedení případných oprav obrábění. Zařízení tvoří dvě samostatné jednotky: měřicí hlava a jednotka pro zpracování dat. Měřicí hlava je vybavena analogovým induktivním měřicím systémem, baterií a vysílačem pro přenos signálu do jednotky pro zpracování dat.

Měřicí roboty

Výrobou SMS se další vývoj v souřadnicovém měření nezastavil. Požadavek na zvyšování kvality a přesnosti výroby nutil konstruktéry k další aktivitě v této oblasti. Bylo třeba vyvinout v této oblasti zařízení, které by si uchovalo přesnost SMS, ale současně přineslo další zlepšení vlastností a výkonů.

Svým určením šlo především o kontrolu v oblasti středně sériových výrob. Vývoj těchto zařízení měl splnit především tyto požadavky :

- rychlostí měření a organizační činností umožnit 100 % kontrolu měřených součástí
- schopnost vypracování velkého množství naměřených údajů, a to dvěma způsoby :
 - a) komplexním vyhodnocením a zařazením měřené součásti do tří kategorií :
dobrá, opravitelný zmetek a neopravitelný zmetek
 - b) hromadným vyhodnocením - pomocí metod statistické matematiky zjišťovat pohyby odchylek měřených rozměrů směrem k mezním hodnotám
- možnost uplatnění získaných informací k řízení a optimalizaci výrobního procesu
- maximální možné přiblížení kontroly do výrobního procesu
- jednoduchý a rychlý způsob pořizování programů (tzv. samoučící režimem)
- automatický přechod na měření jiných součástí
- možnost evidence a rozlišování jednotlivých druhů měřených dílců
- automatickou výměnu měřicích doteků ze zásobníku
- možnost spolupráce s manipulačním systémem pro vkládání a vyjímání měřeních součástí z měřicího prostoru, atd.

V současné době již existují náznaky v řešení tohoto problému do budoucna. Jsou jimi tzv. měřicí roboty a měřicí centra. Rozdíl mezi oběma pojmy není vždy jednoznačný a zůstává na libovůli výrobce, pod který svůj výrobek zařadí.

V současné době se touto problematikou zabývají tyto firmy : Imperial - Prima a DEA z Itálie.

8. MĚŘÍCÍ A VÝPOČETNÍ ČÁST PROGRAMOVÉHO VYBAVENÍ

Měřicí a výpočetní část programového vybavení poskytuje provádění základních úloh analytické geometrie v prostoru i v rovině, jejichž vhodným spojováním, kombinací a využíváním jednotlivých výsledků lze provádět kontrolu součástí hranolovitého a přírubovitého tvaru.

8.1. Význam programového vybavení SMS

Plné využití SMS při ručním i automatickým provozu je nemyslitelné bez programového vybavení, i když software tvoří "neviditelnou" část souřadnicového systému. Programové vybavení SMS je široce zaměřeno a postihuje přípravu řídicího programu pro SMS, vlastní NC řízení provozu SMS, zpracování naměřených dat a využití naměřených dat pro strategii řízení jakosti výroby s případnou integrací se systémy CAD a CAM.

Měření na SMS je založeno na snímání prostorové polohy jednotlivých bodů, které jednoznačně určí kontrolovaný geometrický prvek na povrchu součástí. Vazba geometrických prvků a snímaných bodů je předem zajištěna programovým vybavením SMS a tím je umožněna proveditelnost měření při minimální časové náročnosti. Toto zpracování naměřených dat se uplatňuje při ručním i při automatickým provozu SMS.

Do programového vybavení patří dále např. soubor jmenovitých hodnot a tolerancí kontrolovaných veličin a statistické zpracování výsledků měření (výpočet středních hodnot a směrodatných odchylek apod.). Další část programového vybavení se týká způsobu využití zpracovaných dat měření. Podle zvolené strategie se výsledná data zobrazí, zaznamenají na disk, natisknou do protokolu, zakreslí do diagramu (křivky, sloupce, histogramy apod.), anebo se přenáší do řídicího střediska nebo přímo na pracoviště zpětnou vazbou.

Pro automatický provoz CNC-SMS je nutno připravit řídicí program, např. metodou učení při kontrole prvního kusu anebo na programovacím pracovišti pomocí počítače, aniž by měřicí stroj byl neproduktivně zatěžován. Řídicí program pro SMS má tyto hlavní části :

- Cejchování měřicí sondy
- Evidence souřadnicového systému prvků obrobku
- Evidence geometrických prvků obrobku
- Výpočet nesejmutelných prvků na obrobku
- Automatizace měřicího postupu
- Zpracování naměřených hodnot
- Protokolování výsledků měření, případně další uplatnění výsledků měření

Snímací doteky měřicí sondy jsou obvykle zakončeny kuličkou, kterou je nutné po každé výměně cejchovat na kalibračním tělese (nejčastěji je používáno kulovité těleso). Současně se cejchuje vyložení doteku a navíc je možno vložit korekce na teplotní kompenzaci.

Podle základního souřadnicového systému se zachytí skutečná poloha normálního souřadnicového systému obrobku a provede se jeho transformace, tj. pootočení a posunutí počátku os. Podle potřeby se provede evidence pomocných souřadnicových os a jejich transformace.

Geometrický tvar obrobku se popíše pomocí základních geometrických prvků, které se evidují minimálním počtem bodů. Zároveň se vloží tolerance pro důležité rozměry podle výkresu s ohledem na připravovaný protokol o měření.

Geometrické prvky, které nelze snímat dotekem, se určí na základě matematické závislosti. Jedná se o průsečíky, pomyslné hrany, osy symetrie, osy sítě otvorů, rozteče, roztečné kružnice apod.

Protokol o měření musí jednoznačně vyjádřit geometrické znaky kontrolované součásti nebo u sériového měření pouze výsledky statistického rozboru.

Je vhodné připomenout, že náplň protokolu o měření má být stanovena podle odbornosti pracovníka, kterému je určen. Měřicí technik je obeznámen se zkratkami, které jsou používány v textu protokolu a rozumí protokolu. Stejný přístup má technik pro řízení jakosti, na rozdíl od operátora u výrobního stroje a mistra, kterého na prvním místě zajímá, zda je obrobek dobrý nebo zda je zmetek případně opravitelný.

8.2. Základní charakteristiky

Za základní charakteristiky nutné pro prostorové měření obecně uložené kontrolované součásti lze považovat úlohy kalibrace měřicího doteku a prostorové transformace do souřadného systému SMS.

8.3. Kalibrace měřicího doteku

Tato úloha umožňuje měření na etalonové kouli, jehož výsledky umožní vztahovat k sobě výsledky ostatních měření, které byly získány měřením na kontrolované součásti pomocí různě směřovaných měřících doteků s různými tvary (kulička, talířek, váleček atd.) a korekčními rozměry. Navíc musí být vytvořena možnost zapojovat do výpočtů měření prováděná za pomoci pevných doteků, tak i využitím elektrokontaktní hlavy. Tady se využije možnosti provádět kalibraci vícero doteků najednou, jejich uložení do paměti a postupné zapojování do výpočtů dle průběhu měření.

8.3.1. Příprava doteků a snímačů k měření

Při jednoduchém měření obvykle vystačíme s jedním snímačem osazeným jedním dotekem. V tom případě stačí před měřením pouze zajistit "dynamický" poměr doteku. Ten je vždy o několik tisícín milimetru menší než "statický" čili skutečný poloměr. Je to způsobeno tím, že kontaktní snímač se nerozepne a nevyšle signál do počítače ihned po styku doteku se součástkou, ale až po jisté malé dráze. Tato dráha je nazývána "necitlivostí snímače". Je pochopitelné, že dlouhý dotek bude mít větší necitlivost než krátký. Zanedbatelné není ani prohnutí doteku, které může v extrémních případech činit až několik tisícín milimetru. Na přesnost měření mají vliv rovněž směr a rychlost snímání. Z toho vyplývá, že při vysokých nárocích na přesnost měření je vhodné používat doteky co nejkratší se silným dřikem. Pro naše měření nejčastěji používáme doteky standardní délky 20 nebo 40 mm s průměrem kuličky 3 až 5 mm a s průměrem dříku 2,5 až 4 mm. Stejnou rychlost snímání jak při kalibraci tak při měření lze snadno zjistit u motorizovaného SMS. U ručního je to otázka cviku a pečlivosti obsluhy stroje.

8.3.2. Kalibrace doteků

Kalibraci doteků je možné provádět pomocí kalibrační koule nebo krychle. Nejjednodušší způsob, obzvláště při ručním měření, je pomocí nastavovacího kroužku dutinoměru. Před měřením průměru kroužku zadáme nulový poloměr doteku, takže SMS vyhodnocuje souřadnice středu doteku. Z rozdílu změřeného a skutečného průměru kroužku pak vypočteme dynamický poloměr doteku.

Protože běžný kontaktní snímač má trojúhelníkovou charakteristiku necitlivosti, bylo by zřejmě optimální snímat při kalibraci doteku 6 bodů orientovaných souhlasně s trojúhelníkem necitlivosti snímače tak, aby 3 body byly na vrcholech a 3 body uprostřed mezi nimi, případně z většího počtu bodů. Protože (zejména při ručním měření) snímáme při měření průměru obvykle 4 body orientované ve směru os stroje, používáme stejný způsob i při kalibraci doteků. Řadou porovnávacích zkoušek bylo ověřeno, že přesnost kalibrace ze 4 bodů je naprosto vyhovující.

8.4. Úlohy prostorové transformace

Umožňují provádět měření na kontrolované součásti, která není vyrovnána mechanicky se souřadným systémem SMS.

V zásadě lze tyto úlohy rozdělit na následující typy dle vstupních parametrů :

- a) rovina / rovina
- b) osa / rovina
- c) osa / význačný bod
- d) význačný směr

Dosavadní praxe a zkušenosti potvrdily, že nejužívanějším typem transformace je typ a) rovina / rovina. Na základě měření dvou rovin se určí jak prostorové natočení součásti, tak i naklopení kontrolované součásti vůči souřadnému systému SMS. Do výpočtu této úlohy lze zapojovat libovolné dvě roviny, které jsou přibližně směřované s některou ze souřadných rovin SMS.

U dalších dvou typů (osa / rovina, osa / význačný bod) se bere za základ ztotožnění směru měřené osy s osou z měřicího stroje. To z toho důvodu, že pro její měření jsou takto vytvořeny ty neoptimálnější podmínky. Volba umístění roviny popřípadě význačného bodu je umožněna do oblastí orientovaných přibližně se souřadnými rovinami YZ, XZ a pro význačný bod YZ, XY.

Nutnou podmínkou pro získání co nejobektivnějších výsledků měření je proto vhodná volba určitého typu transformace. A častokrát, hlavně při opakované kontrole shodného typu součástí, lze s výhodou využít i mechanického vyrovnání kontrolované součásti pomocí vyrovnané přesné lišty, která se dodává k SMS.

8.5. Měřicí a výpočetní úlohy

Kontrolované parametry, pro většinu případů, lze u vyráběných součástí převést na řešení některé z úloh analytické geometrie buď v rovině nebo v prostoru. Základní množinu těchto úloh poskytuje programové vybavení SMS. Jejich vhodnou kombinací lze pak realizovat žádané výpočty a měření.

Vstupními parametry pro tyto úlohy jsou bod, přímka, rovina. Bod lze přímo měřit nebo ho získat předem výpočtem (průsečík, střed atd.). Přímka a rovina musí být předem získány výpočtem z jednotlivých bodů.

Přehled měřících a výpočetních úloh :

- rovina (3 až 5 bodů)
- koule (3 až 6 bodů)
- kružnice (3 až 5 bodů)
- přímka (2 body)
- neúplná kružnice (3 až 5 bodů)
- elipsa (5 až 7 bodů)
- válec (měřením dvou eliptických řezů - pracovní rovina řezu)
- bod symetrie (dva body měřené a vypočtené - ?????)
- vzdálenost bod-bod
- vzdálenost bod-přímka
- vzdálenost bod-rovina
- průsečík přímka-přímka
- průsečík přímka-rovina
- průsečnice rovina-rovina

pro vstupní parametry : přímka-přímka
přímka-rovina

- kolmost
- rovnoběžnost
- sklon
- rovinnost
- převod do polárních souřadnic (vypočtený bod)
- mapování

Většina úloh pracuje se základní podmiňující množinou vstupních parametrů tj. například přímka určena dvěma body, kružnice třemi body apod. Rozšiřitelnost je vždy o dva vstupní parametry. Tak například pro výpočet kružnice lze zadat pět bodů, pro kouli šest apod.

8.6. Práce s vypočtenými výsledky

Výsledky jednotlivých úloh, které lze využít v dalších výpočtech se uchovávají v tzv. zásobníku vypočtených hodnot. Ten je tvořen posledními dvaceti získanými výsledky a tvoří se jako nekonečná uzavřená fronta - čili postupně dochází k přepisování získaných výsledků novými.

Do nového výpočtu lze zařadit kterýkoli výsledek uložený v zásobníku. Podmínkou je pouze správná logická návaznost (tj. přímky musí být vypočteny ve shodné pracovní oblasti při výpočtu jejich průsečíku). Výsledek zapojovaný do dalšího výpočtu se ze zásobníku vyvolá prostřednictvím symbolické adresy, která mu je přidělena při jeho ukládání do zásobníku.

Zdálo by se, že počet uložených výsledků (dvacet) je pro složitější kontrolu malý. Výsledky lze však v zásobníku chránit před přepsáním pomocí tzv. krokování v zásobníku vypočtených hodnot. Jakmile se totiž ukazatel v zásobníku nastaví před výsledek, který chce obsluha zachovat, lze jej posunout o žádaný počet kroků vpřed. Nově získaný výsledek se pak uloží na další symbolickou adresu v zásobníku výsledků. Záleží tedy na strategii měření, kterou volí obsluha, aby bylo vlastností zásobníku a práce s ním co nejvýhodněji využito.

8.7. Transformace počátku

Většina součástí vyráběných na NC strojích je kótována v pravoúhlém souřadném systému souřadnic, kde počátek leží přímo na součásti (např. střed otvoru) nebo mimo součást (např. průsečík dvou přímek). A protože po inicializaci systému, kdy bylo započato s měřením, se základní počátek nastaví do pomyslného bodu konce pinoly, dává programové vybavení možnost přesunout počátek do nového, žádaného bodu. Tento však musí být předem získán jako výsledek měření a výpočtu a uložen v zásobníku vypočtených hodnot. Na jedné součásti lze zvolit až čtyři počátky a všechny získané výsledky lze vzájemně zapojovat do dalších výpočtů. Navíc lze hodnoty počátku i modifikovat, čili zadávat jim nenulové souřadnice. Toto umožňuje přičítat nebo odečítat různé přídatky apod., které jsou určeny výkresovou dokumentací pro danou kontrolovanou součást.

8.8. Další výpočetní funkce

8.8.1. Matematika

Tato funkce by měla v podstatě poskytovat základní matematické operace, které se používají u běžných kapesních kalkulaček. Často se v praxi totiž stává, že právě nemáme k dispozici malou výpočetní techniku a k urychlení drobných výpočtů, které se mohou při kontrole součástí vyskytnout, lze tuto funkci využít.

Přehled matematických operací a funkcí :

- sčítání
- odčítání

- násobení
- dělení
- druhá odmocnina čísla
- nulování
- uložení mezivýsledku do paměti

Práce probíhá tak, že vstupní data se zadávají prostřednictvím klávesnice. Na základě zvolené matematické operace se provádí jejich modifikace a výsledky se akumulují v pomyslném mezivýsledku. Tento lze po zvolené sekvenci matematických operací zobrazit jako výsledek konečný nebo ho uložit do paměti a pokračovat novou sekvencí matematických operací, která může hodnotu uloženou v paměti využívat.

8.8.2. Statistika

Mezi základní statistické výpočty užívané v metrologii je určení aritmetického průměru \bar{x} a směrodatné odchylky s . Obě tyto charakteristiky se určují z konečného počtu N prvků, který se na počátku výpočtu zadává.

Výpočet statistických charakteristik se provádí dle následujících matematických vztahů :
aritmetický průměr

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{s^2}, \text{ kde } s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

S využitím těchto funkcí se počítá například při vyhodnocování výsledků kontroly větší série shodných výrobků nebo při opakovaných měřeních.

8.8.3. Tolerance výsledků

Většina rozměrů součástí je uváděna ve výkresové dokumentaci v určitém tolerančním poli. Toto lze vymezit v programovém vybavení použitím funkce tolerance, jejíž nabídka je dle jednotlivých vypočtených výsledků obsluze předložena.

U délkových rozměrů se zadává dolní a horní hranice vymezení tolerančního pole.

U hodnot průměrů otvorů lze navíc využít porovnání skutečného rozměru s tabelovanými hodnotami mezních úchylek H6 - H9 pro jmenovitý rozměr do 400 mm.

Aby byla co nejvíce využita informační kapacita jednotlivých výsledků, lze například u výpočtu kružnice či koule porovnat s tolerančním polem nejen hodnoty průměru, ale i jednotlivých souřadnic středu vypočteného prvku. Taktéž u výpočtu vzdáleností lze porovnávat hodnoty jednotlivých průmětů do souřadných os systému SMS s jmenovitými hodnotami.

Při odchylce větší než je vymezena zadáním je obsluha na tuto skutečnost upozorněna v protokolu výpisem znaku " ! " a zvukovým signálem.

8.9. Metody vyhodnocování měření na počítači

Zde jsou ukázána některá analytická řešení geometrických útvarů, která jsou jednoznačně určena (přímka, kružnice, rovina, koule) a v závěru jsou naznačeny postupy řešení při skutečném měření. Pro úplnost je ukázán výpočet nejběžnějších hodnot (průsečík, vzdálenost, úhel), potřebný k dalším výpočtům.

Použité symboly :

P_i	- i-tý bod určený souřadnicemi a_{ij}
a_{ij}	- j-tá souřadnice i-tého bodu
m, n, p	- souřadnice středového bodu (středu)
τ	- úhel
V_i	- i-tý polohový vektor
N_i	- i-tý normálový vektor
n_{ij}	- j-tá souřadnice i-tého normálového vektoru
S_i	- i-tý směrový vektor
s_{ij}	- j-tá souřadnice i-tého směrového vektoru
A_i, B_i, C_i, D_i	- i-té koeficienty roviny
I, J, K	- jednotkové vektory souřadných os
δ	- vzdálenost
x, y, z	- souřadnice bodu

PŘÍMKA

- definována dvěma body P_1 a P_2 v prostoru
- úkolem je stanovit rovnici přímky

Pro vektorové vyjádření přímky platí :

$$V_i = V_1 + t(V_2 - V_1) \quad (1.1)$$

$$S_1 = V_2 - V_1 \quad (1.2)$$

t- parametr

$$s_{11} = a_{21} - a_{11} ; s_{12} = a_{22} - a_{12} ; s_{13} = a_{23} - a_{13} \quad (1.3)$$

Přímka je tedy jednoznačně určena jedním bodem a směrovým vektorem přímky. Rovnice přímky je pak ve tvaru :

$$V_i = a_{11} I + a_{12} J + a_{13} K + t \cdot S_1 \quad (1.4)$$

ROVINA

- definována třemi body P_1, P_2 a P_3 v prostoru
- úkolem je stanovit rovnici roviny

Pro vektorové vyjádření platí :

$$(V_i - V_1)(V_i - V_2)(V_i - V_3) = 0 \quad (2.1)$$

Tento smíšený součin je možné vyjádřit ve tvaru determinantu :

$$\begin{vmatrix} x - a_{11} & y - a_{12} & z - a_{13} \\ x - a_{21} & y - a_{22} & z - a_{23} \\ x - a_{31} & y - a_{32} & z - a_{33} \end{vmatrix} = 0 \quad (2.2)$$

Z toho dostaneme determinant :

$$\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ a_{11} & a_{12} & a_{13} & 1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 1 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (2.3)$$

Dále platí, že algebraické doplňky prvků prvního řádku posledního determinantu jsou rovny koeficientům hledané roviny.

$$\begin{aligned} A_i &= a_{12} a_{23} + a_{22} a_{33} + a_{32} a_{13} - a_{32} a_{23} - a_{12} a_{33} - a_{22} a_{13} \\ B_i &= a_{11} a_{23} + a_{21} a_{33} + a_{31} a_{13} - a_{31} a_{23} - a_{11} a_{33} - a_{21} a_{13} \\ C_i &= a_{11} a_{22} + a_{21} a_{32} + a_{31} a_{12} - a_{31} a_{22} - a_{11} a_{32} - a_{21} a_{12} \\ D_i &= a_{11} a_{22} a_{33} + a_{21} a_{32} a_{13} + a_{31} a_{12} a_{23} - \\ &\quad - a_{31} a_{22} a_{13} - a_{11} a_{32} a_{13} - a_{21} a_{12} a_{33} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Hledaná rovnice je ve tvaru :

$$A_i x + B_i y + C_i z + D_i = 0 \quad (2.5)$$

KRUŽNICE

- definována třemi body P_1, P_2 a P_3 v některé z rovin xy, yz, xz
- úkolem je zjistit průměr a souřadnice středu kružnice

Platí :

$$(x - m)^2 + (y - n)^2 = r^2 \quad (3.1)$$

Obecně můžeme napsat :

$$(a_{ij} - m)^2 + (a_{i2} - n)^2 = r^2 \quad (3.2)$$

Pak pro jednotlivé body platí :

$$\begin{aligned} (a_{11} - m)^2 + (a_{12} - n)^2 &= r^2 \\ (a_{21} - m)^2 + (a_{22} - n)^2 &= r^2 \\ (a_{31} - m)^2 + (a_{32} - n)^2 &= r^2 \end{aligned} \quad (3.3)$$

Řešením těchto rovnic získáme vztahy pro n a m :

$$\begin{aligned} n &= \frac{(a_{31}^2 + a_{32}^2 - a_{11}^2 - a_{12}^2) \cdot (a_{21} - a_{11}) - (a_{21}^2 + a_{22}^2 - a_{11}^2 - a_{12}^2) \cdot (a_{31} - a_{11})}{2 \cdot [(a_{32} - a_{12}) \cdot (a_{21} - a_{11}) - (a_{22} - a_{12}) \cdot (a_{31} - a_{11})]} \\ m &= \frac{(a_{31}^2 + a_{32}^2 - a_{11}^2 - a_{12}^2) - 2 \cdot n \cdot (a_{32} - a_{12})}{2 \cdot (a_{31} - a_{11})} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Poloměr rovnice vypočítáme z jedné ze tří rovnic (3.3) :

$$r = \sqrt{(a_{11} - m)^2 - (a_{12} - n)^2} \quad (3.5)$$

KOULE

- definována čtyřmi body P_1, P_2, P_3 a P_4 v prostoru
- úkolem je zjistit průměr a souřadnice středu koule

Platí :

$$(x - m)^2 + (y - n)^2 + (z - p)^2 = r^2 \quad (4.1)$$

Obecně můžeme napsat :

$$(a_{i1} - m)^2 + (a_{i2} - n)^2 + (a_{i3} - p)^2 = r^2 \quad (4.2)$$

Pak pro jednotlivé body platí :

$$\begin{aligned}(a_{11} - m)^2 + (a_{12} - n)^2 + (a_{13} - p)^2 &= r^2 \\(a_{21} - m)^2 + (a_{22} - n)^2 + (a_{23} - p)^2 &= r^2 \\(a_{31} - m)^2 + (a_{32} - n)^2 + (a_{33} - p)^2 &= r^2 \\(a_{41} - m)^2 + (a_{42} - n)^2 + (a_{43} - p)^2 &= r^2\end{aligned}\quad (4.3)$$

Řešením těchto rovnic získáme vztahy pro n, m a p :

$$n = \frac{(K_7 \cdot K_4) - (K_6 \cdot K_5)}{(K_8 \cdot K_7) - (K_9 \cdot K_6)}$$

$$m = \frac{K_4 - (n \cdot K_8)}{K_6}$$

$$p = \frac{K_1 - (m \cdot (a_{11} - a_{21})) - n \cdot (a_{12} - a_{22})}{a_{13} - a_{23}}\quad (4.4)$$

$$K_9 = (a_{32} - a_{42})(a_{13} - a_{33}) - (a_{12} - a_{32})(a_{33} - a_{43})$$

$$K_8 = (a_{32} - a_{42})(a_{13} - a_{23}) - (a_{12} - a_{22})(a_{33} - a_{43})$$

$$K_7 = (a_{31} - a_{41})(a_{13} - a_{33}) - (a_{11} - a_{31})(a_{33} - a_{43})$$

$$K_6 = (a_{31} - a_{41})(a_{13} - a_{23}) - (a_{11} - a_{21})(a_{33} - a_{43})$$

$$K_5 = (a_{13} - a_{33}) \cdot K_2 - (a_{33} - a_{43}) \cdot K_1$$

$$K_4 = (a_{13} - a_{23}) \cdot K_2 - (a_{33} - a_{43}) \cdot K_3$$

$$K_3 = \left(a_{11}^2 + a_{12}^2 + a_{13}^2 - a_{31}^2 - a_{32}^2 - a_{33}^2 \right) / 2$$

$$K_2 = \left(a_{31}^2 + a_{32}^2 + a_{33}^2 - a_{41}^2 - a_{42}^2 - a_{43}^2 \right) / 2$$

$$K_1 = \left(a_{11}^2 + a_{12}^2 + a_{13}^2 - a_{21}^2 - a_{22}^2 - a_{23}^2 \right) / 2$$

Poloměr koule vypočítáme z jedné ze čtyř rovnic (4.3) :

$$r = \sqrt{(a_{11} - m)^2 - (a_{12} - n)^2 - (a_{13} - p)^2}\quad (4.5)$$

PRŮSEČÍK PŘÍMKA-PŘÍMKA, PŘÍMKA-ROVINA, ROVINA-ROVINA

- Průsečík přímka-přímka

- definován dvěma různoběžnými přímkami P_1, S_1 a P_2, S_2 v prostoru
- úkolem je stanovit souřadnice průsečíku přímek

Platí :

$$V_1 + t_1 S_1 = V_2 + t_2 S_2\quad (5.1)$$

t_1, t_2 - parametr

Obecně můžeme napsat :

$$a_{11} + t_1 s_{11} = a_{21} + t_2 s_{21}$$

$$a_{12} + t_1 s_{12} = a_{22} + t_2 s_{22}$$

$$a_{13} + t_1 s_{13} = a_{23} + t_2 s_{23}\quad (5.2)$$

Dále vypočítáme průsečík průmětů přímek v některé z rovin xy, yz, xz. V dané rovině nesmí být průměty přímek rovnoběžné.

$$t_1 = \frac{(a_{22} - a_{12}) \cdot s_{21} - (a_{21} - a_{11}) \cdot s_{22}}{s_{12} \cdot s_{21} - s_{11} \cdot s_{22}}$$

$$t_2 = \frac{(a_{22} - a_{12}) \cdot s_{11} - (a_{21} - a_{11}) \cdot s_{12}}{s_{12} \cdot s_{21} - s_{11} \cdot s_{22}} \quad (5.3)$$

Rozdíl z-tových souřadnic možného průsečíku :

$$\mu = (a_{13} + t_1 s_{13}) - (a_{23} + t_2 s_{23}) \quad (5.4)$$

Je-li $|\mu| > 0$, pak jsou přímky mimoběžné.

Je-li $\mu = 0$, pak je hledaný průsečík určen souřadnicemi :

$$a_{ij} = a_{ij} + t_1 s_{ij} \quad (5.5)$$

- Průsečík přímka-rovina

- definován přímkou P_1, S_1 a rovinou N_2, D_2 v prostoru

- úkolem je stanovit souřadnice průsečíku

Platí :

$$N_2 \cdot V_1 + D_2 = 0$$

$$N_2 \cdot (a_1 + t \cdot s_1) + D = 0 \quad (6.1)$$

$$t = \frac{-D_2 - (n_{11} a_{11} + n_{12} a_{12} + n_{13} a_{13})}{n_{11} s_{11} + n_{12} s_{12} + n_{13} s_{13}} \quad (6.2)$$

Jestliže $N_i \cdot S_i = 0$, pak je přímka rovnoběžná s rovinou.

Jinak pro souřadnice průsečíku platí :

$$a_{ij} = a_{ij} + t \cdot s_{ij} \quad (6.3)$$

- Průsečík rovina-rovina

- definován dvěma rovinami N_1, D_1 a N_2, D_2 v prostoru

- úkolem je určit rovnici průsečnice rovin

Jsou-li roviny rovnoběžné, pak platí $N_1 = k \cdot N_2$. (7.1)

Pro směrový vektor průsečnice platí $S_i = N_1 \times N_2$. (7.2)

$$s_{i1} = n_{12} \cdot n_{23} - n_{13} \cdot n_{22}$$

$$s_{i2} = n_{13} \cdot n_{21} - n_{11} \cdot n_{23}$$

$$s_{i3} = n_{11} \cdot n_{22} - n_{12} \cdot n_{21} \quad (7.3)$$

Libovolný bod průsečnice určíme řešením soustavy rovnic rovin pro $z = 0$.

$$a_{i1} = \frac{B_1 \cdot D_2 - B_2 \cdot D_1}{A_1 \cdot B_2 - A_2 \cdot B_1}$$

$$a_{i2} = \frac{-A_1 \cdot a_{i1} - D_1}{B_1}$$

$$a_{i3} = 0$$

Průsečnice je určena bodem P_i a směrovým vektorem S_i .

ÚHEL DVOU PŘÍMEK, ROVIN

- Úhel dvou přímek

- definován dvěma přímkami P_1, S_1 a P_2, S_2 v prostoru
- úkolem je stanovit úhel mezi nimi

Platí :

$$\cos \tau = \frac{S_1 \cdot S_2}{|S_1| \cdot |S_2|} \quad (11.1)$$

$$\cos \tau = \frac{s_{11} \cdot s_{12} + s_{21} \cdot s_{22} + s_{31} \cdot s_{32}}{\sqrt{s_{11}^2 + s_{12}^2 + s_{13}^2} \cdot \sqrt{s_{21}^2 + s_{22}^2 + s_{23}^2}} \quad (11.2)$$

- Úhel dvou rovin

- definován dvěma rovinami N_1, D_1 a N_2, D_2 v prostoru
- úkolem je stanovit úhel mezi nimi

Platí :

$$\cos \tau = \frac{N_1 \cdot N_2}{|N_1| \cdot |N_2|} \quad (12.1)$$

$$\cos \tau = \frac{n_{11} \cdot n_{12} + n_{21} \cdot n_{22} + n_{31} \cdot n_{32}}{\sqrt{n_{11}^2 + n_{12}^2 + n_{13}^2} \cdot \sqrt{n_{21}^2 + n_{22}^2 + n_{23}^2}} \quad (12.2)$$

8.10. Programové vybavení M3D

Základem programového vybavení M3D je interaktivní programovací jazyk, umožňující programovat posloupnost jednotlivých měřicích operací potřebných pro měření dané součásti (tzv. partprogram). Tento partprogram je vytvořen pomocí textového editoru, uložen na disk a před měřením dané součásti spuštěn tak, aby operátor stroje nemusel v průběhu měření počítač vůbec obsluhovat. Po ukončení měření jsou výsledky uloženy na disk a zpracovány do protokolu o měření, který se vypisuje na obrazovku počítače, případně na tiskárnu.

Klíčová slova nejčastěji používaných funkcí mohou být předdefinována a vyvolají se stisknutím některé kombinace funkčních kláves (lze použít celkem 36 kombinací).

Dotek snímací sondy je indikován akusticky reproduktorem počítače. Okamžitý stav všech tří souřadnic a některé další informace o stavu stroje jsou průběžně zobrazovány ve dvou stavových řádcích, odpadá tedy nutnost použití indikačních jednotek. Příkazy lze zadávat buď přímo, pomocí funkčních kláves, nebo lze k jejich vytváření použít okénkového menu.

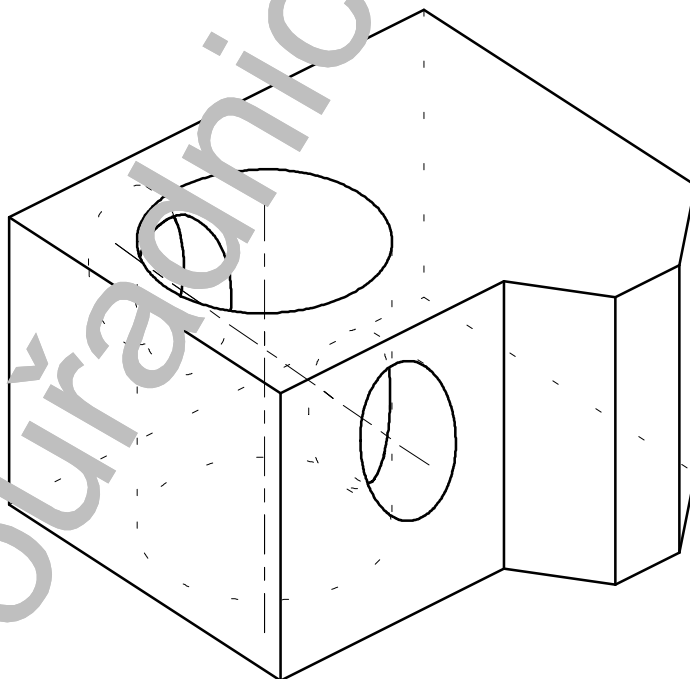
Možnosti programového vybavení M3D :

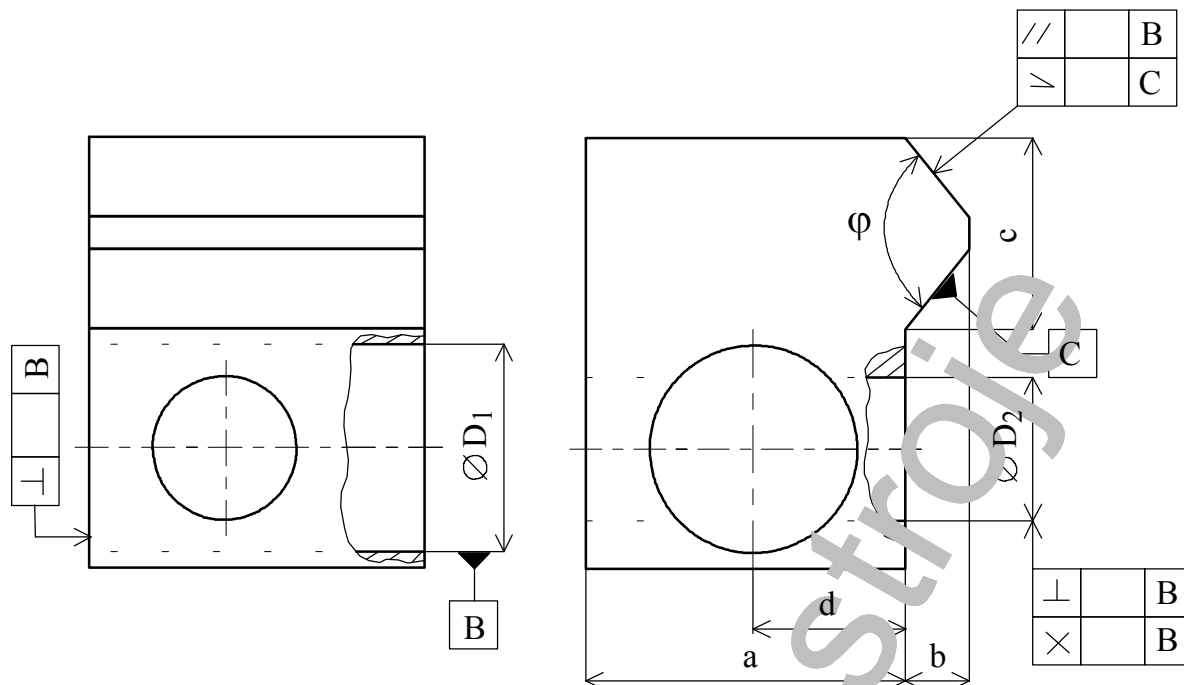
- Prostorová korekce chyb mechanické části stroje (lineární, délková, úhlová).
- Automatická korekce polohy a rozměrů doteku pro použití sondy až s pěti snímacími doteky.
- Práce v kartézských i polárních souřadnicích. Dvourozměrná nebo třírozměrná transformace souřadnic.
- Trvalé nebo dočasné posunutí počátku. Dva další (na strojním systému nezávislé) souřadné systémy jsou odvozeny od měřeného objektu. Výstup hodnot geometrických útvarů vztažených k těmto souřadným systémům.

- Paměť pro uložení souřadnic až 1000 sejmutých bodů. Paměť pro uložení hodnot až 1000 geometrických elementů.
- Výpočet obecně položených geometrických elementů (přímka, rovina, kružnice, elipsa, koule, válec a kužel) z bodů uložených v paměti sejmutých bodů. Možnost uložení takto vypočtených geometrických elementů do paměti a jejich zpětné vyvolání. Přesun vypočtených nebo zadaných bodů z paměti bodů.
- Operace s geometrickými elementy (souměrnost, vzdálenost, úhel, průměr, kolmice, průsečík, průsečnice) a jejich uložení do paměti
- Možnost práce v simulovaném režimu, tj.. zadávání souřadnic bodů z klávesnice do paměti bodů, případně zadávání geometrických elementů do paměti útvarů a práce s těmito body či elementy tak, jako by byly získány měřením.
- Zadání výkresových hodnot a tolerancí a výpočet hodnot odchylek tvaru a polohy tj.. přímost, rovinnost, kruhovitost, sklon a kolmost. Výpočet statistických hodnot včetně tabulky odchylek naměřených bodů od středních geometrických elementů.
- Tisk protokolu na tiskárně v různých formách obsahujících naměřenou hodnotu, teoretickou hodnotu úchytky, dolní a horní mez tolerance, přesah tolerance a další volitelné parametry.
- Tvorby a použití partprogramů pro opakované měření obrobků.
- Práce s barevnou grafikou, ovládání pomocí menu a okének.

Programové vybavení M3D je dodáváno v české nebo anglické verzi s uživatelským manuálem obsahujícím popis jazyka M3D a příklady tvorby a použití partprogramů. Dodávané programové vybavení je neustále zdokonalováno a podléhá pravidelné aktualizaci.

8.11. Příklad měření součástky na SMS





Rozměry a úchytky, které budou měřeny :

Délkové rozměry : a, b, c, d

Průměry : $\varnothing D_1, \varnothing D_2$

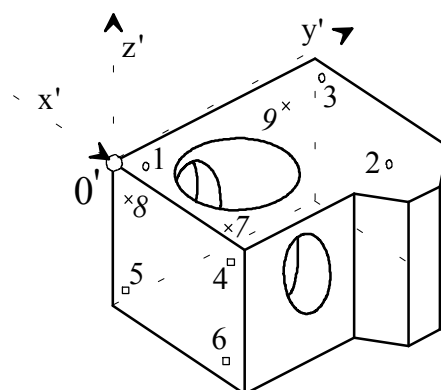
Úchytky polohy :

- úchytky sklonu (úhel ϕ)
- úchytky kolmosti $\varnothing D_1 \perp \varnothing D_2$
- úchytky kolmosti $\varnothing D_1 \perp R_1$
- úchytky rovnoběžnosti $\varnothing D_1 \parallel R_4$
- úchytky různoběžnosti $\varnothing D_1 \times \varnothing D_2$

I. TRANSFORMACE SOUŘADNIC

1. Za hlavní měřicí základnu je zvolena horní rovina R_1 , jejíž normála určuje směr osy z' . Rovina R_1 se změří body 1,2,3. Směr osy x' určuje směr průsečnice rovin R_1 a R_2 (rovina R_2 je dána body 4,5,6). Osa y' je kolmá na osu x' a z' - nemusí být rovnoběžná s průsečnicí $R_1(1,2,3)$ a $R_2(7,8,9)$. Výsledkem jsou směrové kosiny os x', y', z' .

2. Stanoví se počátek $0'$ systému $0', x', y', z'$ např. v průsečíku tří rovin $R_1(1,2,3)$, $R_2(4,5,6)$, $R_3(7,8,9)$ - slučovací operace " průsečík tří rovin ".



II. MĚŘENÍ DÉLKOVÝCH ROZMĚRŮ

1. Měření délky a : změří se body 7 a 10 (bod 7 byl změřen již dříve) a po transformaci se vyhodnotí jejich vzdálenost ve směru osy x' .

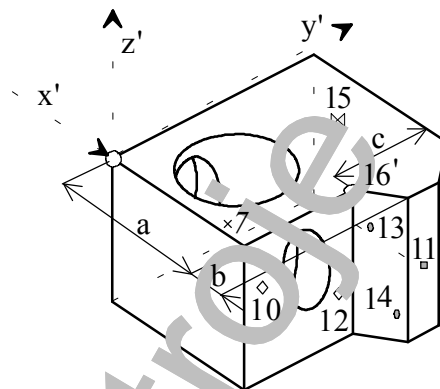
$$a = x'_{10} - x'_7$$

2. Měření délky b : změří se bod 11 a pomocí bodu 10 změřeného v předchozím kroku se vyhodnotí vzdálenost.

$$b = x'_{11} - x'_{10}$$

3. Měření délky c : změří se body 12, 13, 14, v průmětu do roviny $x' y'$ se vyhodnotí průsečík $16'$ přímky dané body $10'$ a $12'$ (body 10 a 12 transformované do roviny $x' y'$) a přímky dané body $13'$ a $14'$. Dále se změří bod 15 jehož vzdálenost od bodu $16'$ ve směru osy y' určuje rozměr c .

$$c = y'_{15} - y'_{16}$$



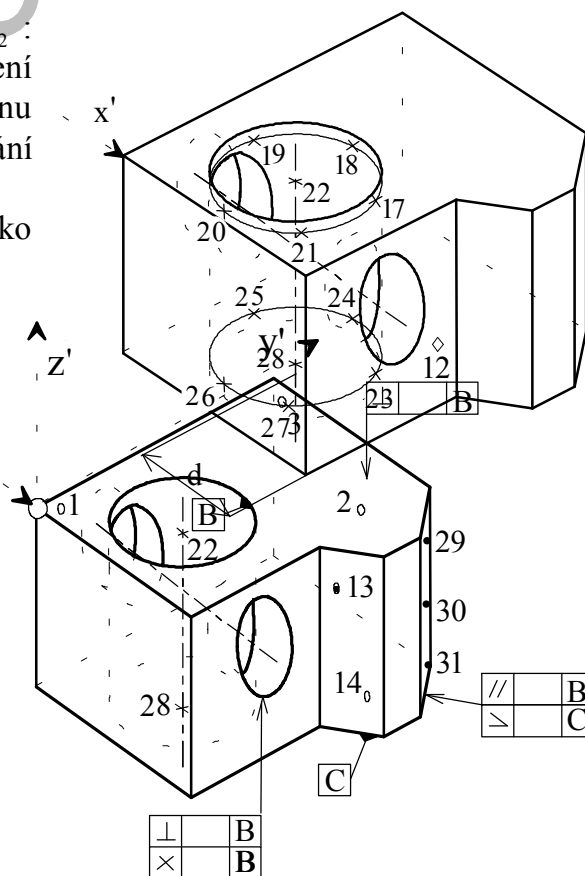
III. MĚŘENÍ DĚR

1. Měření průměru D_1 a směru osy díry D_1 : pro určení směru osy díry je třeba zjistit její dva body. Po změření bodů 17 až 21 se vyhodnotí bod 22 a po změření bodů 23 až 27 se vyhodnotí bod 28. Body 22 a 28 určují směr osy díry D_1 . Průměr díry D_1 se určí např. z bodů 23, 25, 27.

2. Měření průměru D_2 a směru osy díry D_2 : měření se provede obdobně jako u měření díry D_1 . Toto měření však vyžaduje změnu polohy měřicího nástavce a tudíž cejchování měřicí hlavy.

3. Měření polohy os : rozměr d se určí jako vzdálenost bodů 12 a 22 ve směru osy x' .

$$d = x'_{10} - x'_{22}$$



IV. MĚŘENÍ ÚCHYLEK

1. Měření úchylky sklonu : změříme body 29, 30 a z přímků určených body 13, 14 a 29, 30 se v průmětu do roviny $x' y'$ vyhodnotí úchylka sklonu pomocí slučovací operace "úhel dvou přímek".

2. Měření úchylky kolmosti děr : vyhodnotí se z bodů 22 a 28

určujících osu díry D_1 a obdobných bodů na ose díry D_2 pomocí měřičské úlohy "úchylka kolmosti dvou přímek".

3. Měření úchylky kolmosti roviny : úchylka kolmosti roviny $R_1(1,2,3)$ k ose díry D_1 se vyhodnotí z bodů 1, 2, 3 a 22, 28 pomocí měřičské úlohy "úchylka kolmosti přímky od roviny".
4. Měření úchylky rovnoběžnosti : rovnoběžnost díry D_1 (dané body 22 a 28) a roviny R_4 (dané body 29, 30, 31) se určí pomocí měřičské úlohy "úchylka rovnoběžnosti přímky od roviny".
5. Měření úchylky různoběžnosti : úchylka různoběžnosti děr D_1 a D_2 se vyhodnotí z bodů ležících na osách děr (pro díru D_1 to jsou body 22, 28) pomocí měřičské úlohy "úchylka různoběžnosti". Tato úloha je řešena jako nejmenší vzdálenost dvou mimoběžek.

9. KOMUNIKAČNÍ ČÁST PROGRAMOVÉHO VYBAVENÍ

Práce se SMS v podstatě probíhá z hlediska obsluhy jako práce s měřícím automatem. Obsluha nemusí znát žádný programovací jazyk pro počítač. Programové vybavení je vytvořeno tak, že tvoří uzavřený celek a ze strany obsluhy nelze do něj zasahovat.

9.1. Měřicí protokol

Výstupním dokladem o prováděné kontrole je *měřicí protokol*. V jeho záhlaví má obsluha SMS možnost zapsat identifikační údaje, tj. datum prováděné kontroly, číslo výkresu součásti, popř. informaci o tom, kdo kontrolu prováděl.

Jednotlivé výsledky měření jsou do protokolu zaznamenávány tak, že je vypsán název (popřípadě zkratka) právě ukončené úlohy, dále pak dává počítač obsluze možnost zapsat vlastní označení vypočteného výsledku. Pokud je výsledek ukládán do zásobníku vypočtených hodnot, je vypsána symbolická adresa, pod kterou bude do zásobníku umístěn.

V průběhu měření lze do měřicího protokolu zapisovat libovolné komentáře, poznámky a texty, což umožňuje obsluze zpřehlednit celý měřicí protokol, popřípadě zvýšit jeho informační kapacitu.

10. REŽIMY PRÁCE SMS

Programové vybavení poskytuje obsluze provádět kontrolu dané součásti ve třech pracovních režimech

- a) přímý
- b) učící
- c) řídicí

10.1. Přímý režim

V základním režimu probíhá kontrola tak, že obsluha provádí sled volby jednotlivých příkazů, jak jej požaduje dialog obsluhy s počítačem. Do operační paměti se ukládají jen výsledky získané výpočty, které tvoří zásobník vypočtených hodnot.

10.2. Učící režim

Pro případ opakované kontroly shodného typu součástí a reprodukovatelnosti postupu prováděné kontroly, je možno vytvořit ve vymezené části operační paměti měřicí program. V podstatě se jedná o to, že obsluha provádí normální měření jako v přímém režimu s tím, že prováděná sekvence příkazů se uchová v paměti počítače. Pro případ, že nastane nestandardní průběh úlohy (chybná volba, špatně měřený bod apod.), má obsluha možnost právě ukončenou úlohu zopakovat, a to již se správným průběhem.

Před započítáním každé nové úlohy počítač žádá od obsluhy zápis jejího označení, a to proto, aby při opakovaném využití vytvořeného programu byla obsluha informována o následující prováděné úloze. Zde je vhodné využít i možnost zápisu komentáře, ve kterém se objeví označení výsledku, který se výpočtem získá.

Dále je zde možnost uložení vytvořeného programu na vnější paměťové médium.

10.3. Řídicí režim

Jedná se vlastně o využití vytvořeného programu v průběhu pracovního režimu učení. Tento program, jak již bylo uvedeno, může být vytvořen a následně užít nebo nahrán z vnějšího média.

Opět je obsluze dána možnost právě dokončenou úlohu zopakovat, neboť zde již nedochází k chybám způsobeným špatnou volbou, strategií a pod., ale například k chybám při měření jednotlivých bodů, záměnou měřeného prvku apod.

Tento režim práce má tedy zefektivnit provádění kontroly na součástech, které se v určitých periodách na kontrolu dostávají.

11. HLEDISKA PRO VÝBĚR SMS

Pořízení SMS není snadná ani levná záležitost. Proto je nutné při výběru typu důkladně zvažovat všechny současné i budoucí potřeby, které se mohou teprve vyskytnout. Přitom je nutné posuzovat zejména tato hlediska :

Způsob použití stroje

Má-li být stroj umístěn v měrové laboratoři nebo použit při malosériové výrobě, lze připustit SMS s ručním ovládáním. I v těchto případech je vhodné, aby měl možnost uložit partprogram na disk.

V sériové výrobě nebo u rozměrných strojů je nutná motorizovaná verze. Ta je použitelná i při nasazení do automatizovaného technologického pracoviště, nevhodnější však je měřicí robot propojený s linkou a schopný korigovat seřízení obráběcích strojů.

Pracovní rozsah a přesnost

Stroje s větším pracovním rozsahem mají menší přesnost, což obvykle svádí k pořízení co nejmenšího typu stroje. Zde je nutné obvykle volit kompromis a uvažovat s jistou rezervou pro případ výroby větších součástek v budoucnu. Podstatný vliv mají nejen vnější rozměry měřené součástky, ale také její tvar a požadavky na měření "uvnitř součástky", které zvětšují potřebný měřicí rozsah. V každém případě je nevhodnější předat výkresy součástek, které mají být na SMS měřeny výrobcí stroje s požadavkem o určení vhodného typu, nebo tuto otázku alespoň konzultovat s některým zkušeným uživatelem SMS. (V některých případech je důležitá i zatížitelnost stolu nebo způsob upínání měřených součástek.)

Výběr řídicího systému a příslušenství

Výběr řídicího systému a příslušenství bude v první řadě záležet na výrobcí SMS a na jeho možnostech. U motorizovaného SMS by měl být v řídicím systému přednostně počítač, u ručního lze připustit mikroprocesorovou jednotku.

Tiskárna patří do základního příslušenství v každém případě. Obrazovkový displej není podmínkou u mikroprocesorového řídicího systému, v každém případě by však měl být u počítačového, pokud již není v základní konfiguraci. Plotter je výhodný zejména při využívání SMS pro scanování, u běžných aplikací není nutný. Při volbě počítače (je-li možná) je vhodné zvažovat také kompatibilitu s běžnými systémy, možnost propojení s jinými dostupnými počítači, případně možnost připojení periférií tuzemské. Kromě toho je vhodné zakoupit navíc jeden počítač stejného typu pro přípravu partprogramů mimo SMS a zároveň jako náhradní pro případ poruch řídicího počítače SMS.

Do příslušenství vlastního SMS patří zejména snímače, doteky, měřicí mikroskopy, různé nástavce, kalibrační přípravky, otočný stůl, kompresor a případně pomůcky pro ověřování přesnosti stroje.

Mechanické doteky jsou vhodné pouze pro méně přesné měření na ručních SMS. Mezi nejčastěji používané patří elektromechanické kontaktní snímače s nejrůznějšími doteky případně snímače pro scanování. Velmi výhodná je měřicí hlava RENISHAW PH9 otočná ve dvou rovinách, která může do jisté míry zmenšit nároky na velikost SMS a v řadě aplikací nahradí potřebu otočného stolu. Měřicí mikroskopy jsou vhodné pro odměřování u velmi malých součástek na ručních SMS. Otočný stůl je poměrně drahé příslušenství a při běžném měření není vůbec potřebný, obzvláště máme-li hlavu PH9. Kompresor je vhodné pořídit v každém případě, i když je k dispozici tlakový vzduch z centrálního rozvodu. Měl by být pokud možno rotační, aby vzduch nebyl znečištěn olejem. Samostatný kompresor zajišťuje nepřetržitou dodávkou vzduchu, což je důležité pro plynulost práce (při poklesu tlaku vzduchu v centrálním rozvodu pod určitou hodnotu se SMS samočinně zastaví).

Někteří výrobci nabízejí i různé pomůcky pro ověřování přesnosti stroje od úhelníků a základních měrek až po laserové interferometry. V tomto případě bude zřejmě výběr ovlivněn již existující vybaveností podniku a možnostmi využití těchto pomůcek pro jiné účely.

Výběr programového vybavení

Kromě základního programu pro běžné měření bývají k dispozici moduly pro měření ozubených kol, scanování, statistické vyhodnocování výsledků měření, přípravu programů s

podporou počítače, programování NC strojů, maximální využití materiálu apod. Výběr bude závislý na konkrétních potřebách uživatele.

Výběr výrobce

Při posuzování výše uvedených hledisek splní pravděpodobně požadavky několik výrobců současně. V tom případě by měla být kromě ceny posuzována zejména možnost servisu a dodávek náhradních dílů. Pokud je v podniku již nějaký SMS instalován, měla by být dána přednost stejnému výrobcu.

12. NĚKTERÉ TYPY SMS MITUTOYO

Měřicí stroje MXF 203 a BX 303 jsou nejmenší třísouřadnicové stroje MITUTOYO s měřicím rozsahem 200 x 300 x 150 mm, popřípadě 325 x 300 x 250 mm. Pracují s rozlišitelností 1 μm , opakovatelnost je 1,5 μm . Vodící plochy jsou z jakostní oceli, měřicí stůl z přírodního kamene. Jsou to mostové stroje s ručním ovládáním a používají se v dílenském provozu. K vyhodnocování a zpracování měřených hodnot se používá procesor MICROPAK 100 (2).

Měřicí stroje série F/FJ zahrnují řadu šesti modelů mostového typu. Menší stroje se obsluhují v sedě. Typ F je vybaven ručním řízením, konečné jemné nastavování v osách x a y je motorické. Typ FJ je řízen motoricky ve všech třech osách, vedení je na vzduchových ložiskách. K vyhodnocování se používá procesor MICROPAK 210 nebo počítač, např. HP 9816 s příslušnými perifériemi.

Mostové měřicí stroje série FN jsou určeny pro práci v režimu CNC. Jde o řadu šesti typů, nejmenší z nich s měřicím rozsahem 500 x 300 x 300 mm, největší s rozsahem 1100 x 650 x 600 mm. Všechny tři osy stroje jsou vedeny po přesných ocelových plochách na vzduchových ložiskách. K vyhodnocování slouží počítač, např. HP 9816 s grafickou obrazovkou, řádkovou tiskárnou a souřadnicovým zapisovačem.

Měřicí stroje série B/BJ jsou dílenské stroje portálového typu. Jejich měřicí prostor je charakterizován velkým objemem a dobrou přístupností.

Stroje série B jsou ručně řízené, umožňují proměření všech běžných geometrických prvků. Osy x a y jsou vedeny na vzduchových ložiskách, svislá osa z je vedena v přesných radiálních kuličkových ložiskách. Vyrábějí se stroje v šesti různých velikostech, největší s měřicím rozsahem 700 x 1500 x 600 mm, max. hmotnost kontrolovaného obrobku je 1000 kg. Jako optimální přístroj pro vyhodnocování výsledků měření se doporučuje MICROPAK 100.

Stroje série BJ jsou motoricky řízené, všechny tři osy jsou vedeny na vzduchových ložiskách. Měřicí rozsah největšího stroje je 1000 x 2000 x 1000 mm. Měřicí stůl unese obrobky hmotnosti až 3000 kg. Dobrý přístup k měřicímu stolu umožňuje při zakládání obrobku jeřáb, speciální zakladač nebo manipulátor.

Měřicí stroje sérií BN a KN jsou portálového typu, pracují v režimu CNC.

U řady strojů BN je osm různých typů, nejmenší s měřicím rozsahem 700 x 1000 x 600 mm, největší s měřicím rozsahem 1000 x 2000 x 1000 mm. Měřicí stůl má upínací plochu až 1300 x 3060 mm. Nejde však pouze o plochu obrobků, které lze na stroji řady BN kontrolovat, ale i o jejich výšku. Největší stroj této řady, BN 1020 S umožňuje měřit obrobky vysoké až 1150 mm.

Měřicí stroje KN byly poprvé předvedeny na výstavě 6. EMO v Hannoveru. Jde o typovou řadu tří strojů, největší s měřicím rozsahem 850 x 1500 x 600 mm. Lze kontrolovat obrobky hmotnosti až 1500 kg. Stroje řady KN jsou prozatím nejpřesnější třísouřadnicové stroje

MITUTOYO: jejich rozlišitelnost je 0,5 μm, nejistota měření (při statické pravděpodobnosti P = 0,95) v souřadnici nepřekročí hodnotu

$$\pm \left(3 + \frac{0,4 \cdot L}{100} \right) \mu\text{m}, \text{ kde } L \text{ je měřená délka v milimetrech}$$

Uvedenými typy japonských souřadnicových měřících strojů vývoj nekončí. Jako příklad nového typu stroje je portálový CNC tříosouřadnicový stroj s typovým označením MBS, stroj je vybaven automatickou výměnou měřících doteků (ATC). Je tedy předurčen pro nasazení v pružných výrobních systémech. Přípravuje se také výroba měřícího robotu pro kontrolu velkých sérií obrobků.

Souřadnicové stroje

13. KONTROLA JAKOSTI VE VÝROBNÍCH SYSTÉMECH

13.1. Souřadnicové měřicí stroje pro zvýšení kvality strojírenské výroby

Kontrola obrobku pomocí souřadnicové metody měření se provádí pomocí měřicí sondy, která je nasazena na CNC obráběcím stroji (na soustruhu, na frézce nebo na obráběcím centru), nebo na souřadnicovém měřicím stroji. Měřicí sonda ve spojení s počítačovou technikou tvoří zařízení, které v integraci s výrobním procesem zajišťuje nejen následnou kontrolu, ale hlavně představuje prostředek pro řízení jakosti výroby.

Souřadnicová metoda měření je již dávno známa a občas byla používána na přesných souřadnicových vrtačkách. Tento způsob měření byl časově velmi náročný a zcela nevhodný pro měření prostorových tvarů. Rozměřování a orýsování obrobků je rovněž splnitelné na souřadnicových vrtačkách.

Na souřadnicových měřicích strojích lze snímat polohu libovolných bodů na součásti a možno řešit všechny geometrické úkoly měření. Ovšem to neznamena, že nasazení SMS bude vždy ekonomické. Speciální automatický měřicí stroj, používaný pro souběžnou kontrolu několika rozměrů na rotačním obrobku ve velkosériové výrobě, není vhodné nahradit např. souřadnicovým měřicím strojem.

13.2. Nasazování SMS a jejich integrace do výrobního procesu

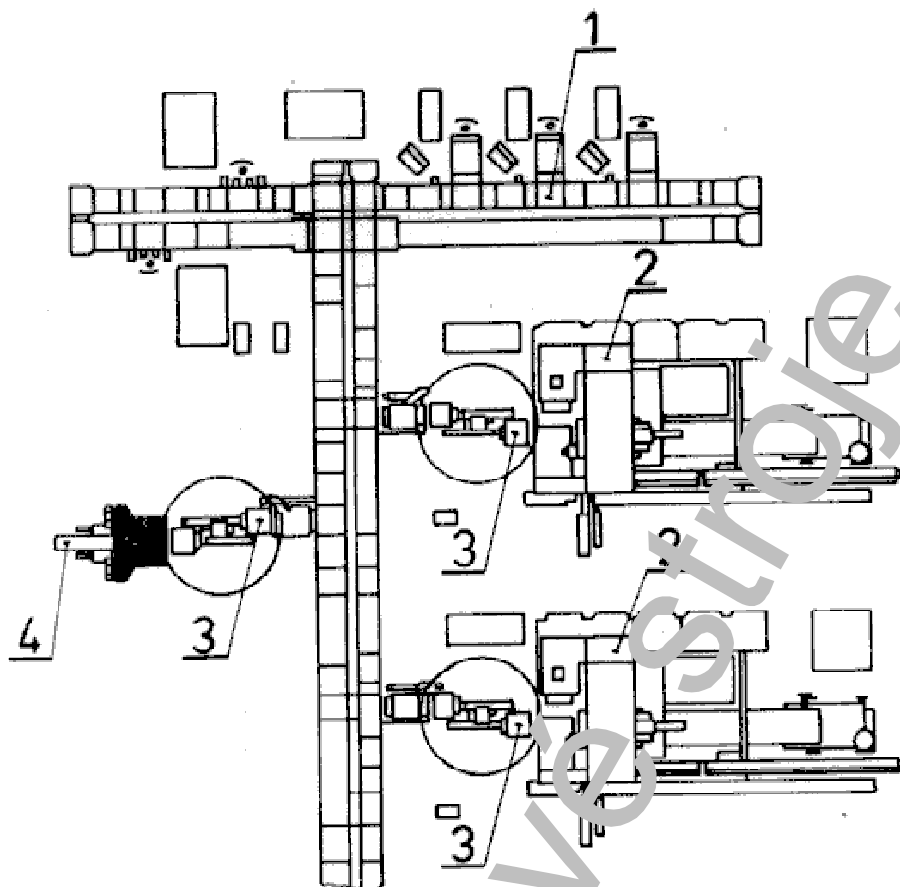
Souřadnicové měřicí stroje jsou především určeny pro prostorovou kontrolu geometrických prvků povrchů na součástkách. Uplatnění nachází při vstupní kontrole, občasně nebo stálé mezioperační kontrole a při stoprocentní kontrole.

Kladný přínos SMS se projevuje jak v kusové, malosériové, tak i v sériové výrobě a jejich význam narůstá se stupňující se přesností a složitostí kontrolovaných součástí.

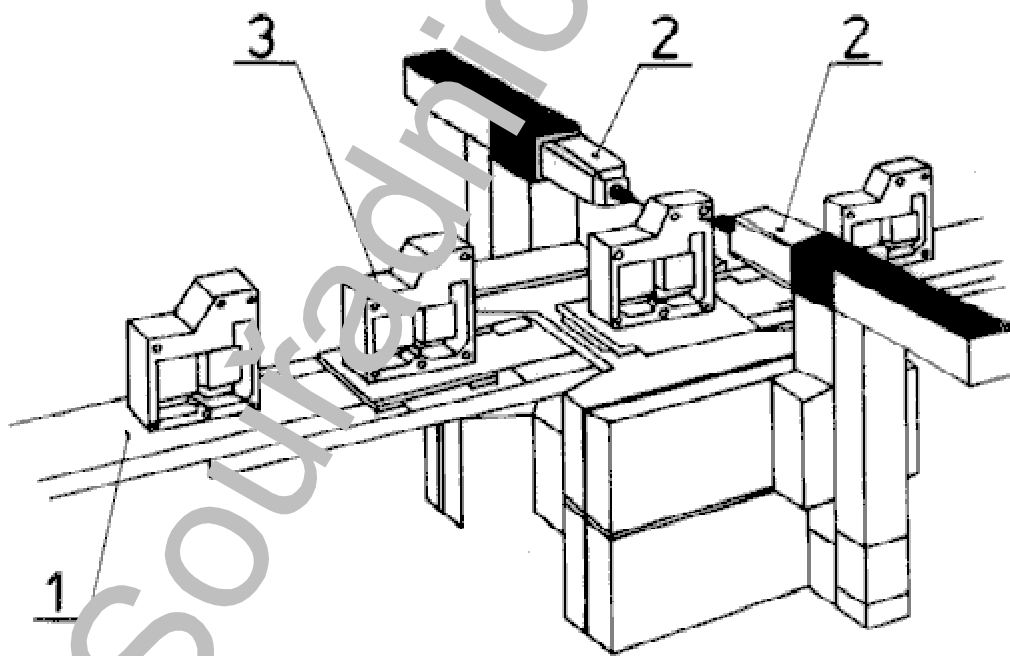
SMS může být umístěn izolovaně na měrovém středisku anebo přímo ve výrobní dílně při různém stupni integrace s výrobním procesem. Jak izolované, tak integrované umístění SMS je přínosem, který je založen na významných úsporách pracnosti kontrolní práce na SMS v porovnání s konvenční metodou měření. S integrací SMS ve výrobním procesu jsou spojeny další výhody následkem účinnějšího řízení jakosti.

Konvenční kontrolní metody neodpovídají úrovni výroby na CNC obráběcích strojích a musí být nahrazovány počítačovou technikou a SMS. Podle moderních zásad pro řízení jakosti je nutné odhalit příčinu závad co nejrychleji od okamžiku vzniku a co nejrychleji provést opatření, které zabrání pokračování závady.

Trvalým sledováním jakosti výroby a neustálým statistickým vyhodnocováním se zabrání vzniku zmatků (např. včasnou výměnou nástrojů před jejich otupením). Z časového záznamu rozměrových úchylek se odvodí jejich očekávaný nárůst a na základě tohoto závěru lze zasáhnout v předstihu a neustále dodržovat předepsané tolerance.

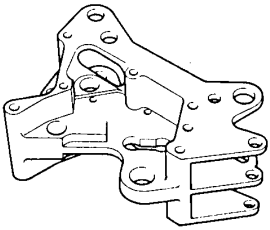
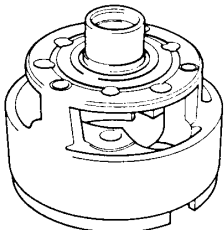
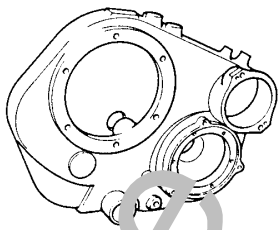
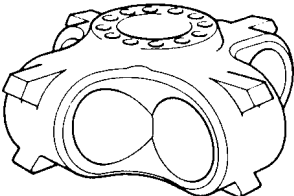

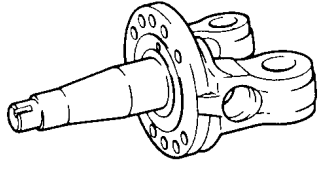


1- přípravná pracoviště , 2- technologická pracoviště , 3- otočný manipulátor ,
4- měřící robot



1- dopravník obrobků , 2- měřící robot , 3- obrobek

13.3. Příklady úspory času při strojním měření na SMS v porovnání s konvenčními metodami měření

HLINÍKOVÁ LETECKÁ SOUČÁSTKA		OCELOVÝ BUBEN		PŘEVODOVÁ SKŘÍŇ ODLITÁ Z HLINÍKU	
					
Přibližné rozměry [mm]	220 x 150 x 70	Přibližné rozměry [mm]	75 x 125	Přibližné rozměry [mm]	375 x 250 x 75
Měřené prvky	20 děr + 3 výšky	Měřené prvky	průměry, díry, rozteče, poloměry, soustřednost	Měřené prvky	8 uložení hřídelů, 32 pozic děr
Konvenční měření	2 hodiny	Konvenční měření	1 1/4 hodiny	Konvenční měření	4 hodiny
Strojní měření	8 minut	Strojní měření	5 minut	Strojní měření	16 minut
93,4 % ÚSPOR		93,3 % ÚSPOR		93,3 % ÚSPOR	
KŘÍŽOVÝ NÁBOJ ODLITÝ Z HLINÍKU		OCELOVÝ ŠNEK		OTOČNÝ ČEP	
					
Přibližné rozměry [mm]	350 x 350 x 150	Přibližné rozměry [mm]	150 -průměr 400 - délka	Přibližné rozměry [mm]	360 x 200 x 200
Měřené prvky	vyrovnání hlavních děr, vzájemná kolmost těchto děr, vzdálenost osy děr od šikmé plochy, průměr hlavních děr	Měřené prvky	a) profil rotoru v různých řezech kolmých k ose rotoru b) stoupání	Měřené prvky	12 děr, 5 válců, 1 kužel, 8 rovin, 1 drážka
Konvenční měření	7 1/2 hodiny	Konvenční měření	neměřitelné	Konvenční měření	4 hodiny
Strojní měření	11 minut	Strojní měření	1,7 minuty	Strojní měření	9 1/2 minuty
97,6 % ÚSPOR		100 % ÚSPOR		96,0 % ÚSPOR	

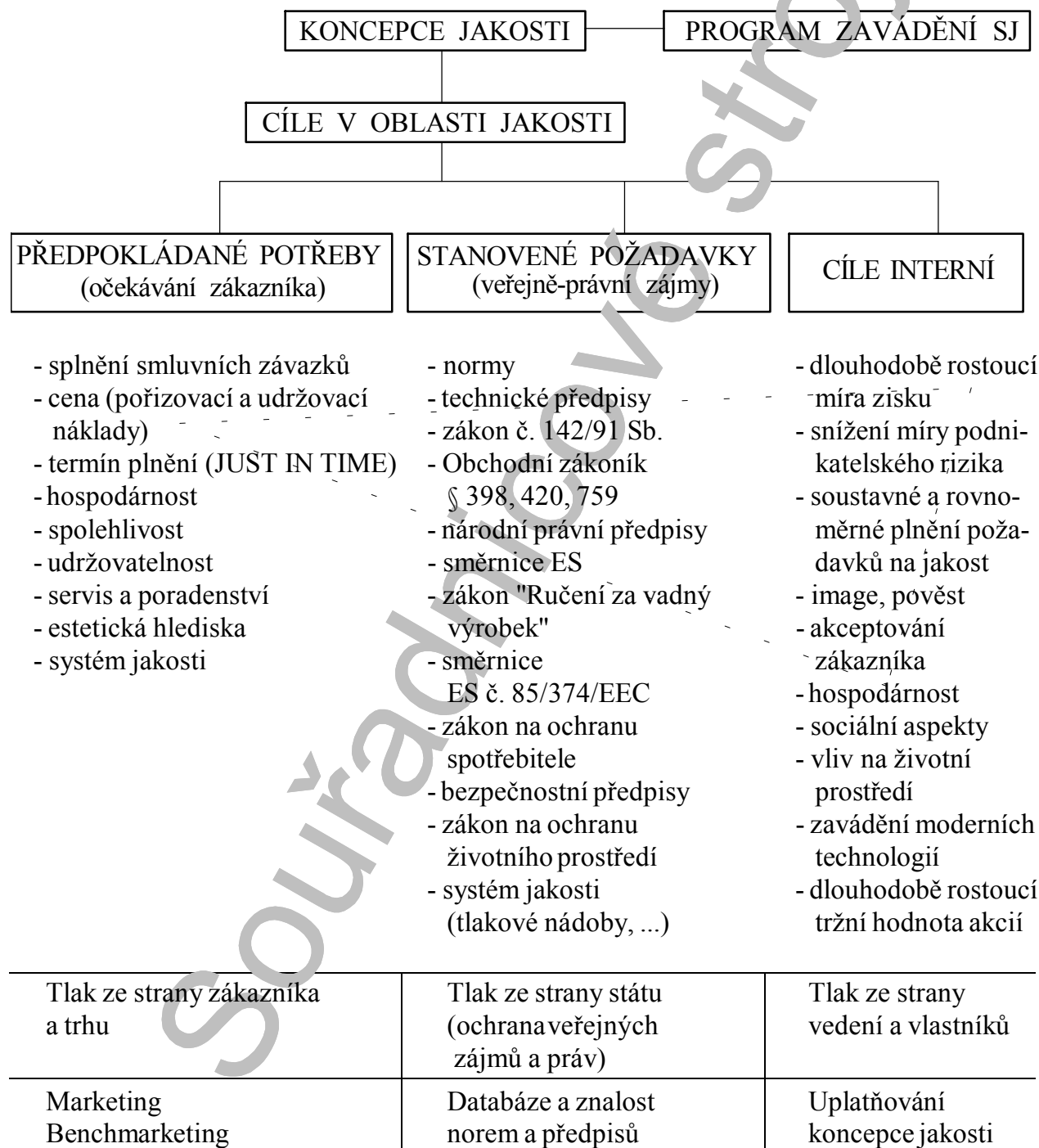
14. MEZINÁRODNÍ NORMY A SYSTÉMY JAKOSTI ISO 9000, 9001, 9002, 9003, 9004

JAKOST (Quality) - celkový souhrn vlastností a znaků výrobku nebo služby, které mu/jí dávají schopnost uspokojovat předem stanovené nebo předpokládané potřeby.

14.1. Podstata a cíle řízení jakosti

14.1.1. Cíle podniku v oblasti jakosti, koncepce jakosti

Cíle podniku v oblasti jakosti se v souladu s obsahem pojmu jakosti člení na tři kategorie jak znázorňuje následující obrázek.



Jedná se v podstatě o záměry vedení organizace trvale a soustavně plnit a uspokojovat jak stanovené požadavky na jakost, tak i předpokládané potřeby zákazníků a v neposlední řadě i plnit interní podnikatelské cíle.

Předpokládané potřeby (očekávání zákazníků)

- zahrnují požadavky či potřeby, které je zákazník schopen definovat (např. ve smlouvě); Zásadně do této kategorie patří splnění smluvních závazků, dodávky za přijatelné ceny a dodržení stanoveného termínu dodání.
- zahrnují rovněž potřeby, které zákazník není schopen vždy jednoznačně specifikovat (skryté, nevyjádřené požadavky - např. u spotřební elektroniky); Mezi očekávání, která jsou většinou latentní, můžeme řadit očekávání, týkající se spolehlivosti, hospodárnosti, servisu, estetická hlediska apod.
- zahrnují v současné době v mnoha oborech s vysokou technickou náročností výrobků (letectví, jaderná i konvenční energetika, automobilový průmysl apod.) rovněž požadavky zákazníka na uplatňování mezinárodně uznávaných zásad v oblasti řízení jakosti, tzn. požadavek na zavedení systému jakosti dle norem ISO nebo předpisů ASME, resp. jeho certifikaci uznávaným nezávislým certifikačním orgánem

V konkurenčním tržním prostředí tedy při výběru dodavatele zákazníci vytvářejí přirozený tlak na své potenciální dodavatele, aby tito znali jejich požadavky, porozuměli jim a včas dokázali tyto požadavky plnit.

Vyspělý dodavatel proto aplikuje celou škálu marketingových činností zaměřených na sběr a analýzu informací o potřebách a požadavcích potenciálních zákazníků a trhu.

Současně jsou vyspělými firmami aplikovány metody benchmarkingu, zaměřené na srovnávání jakosti svých výrobků a služeb s vyspělou konkurencí, jakož i na srovnávání postupů, procesů a činností, které probíhají ve vyspělé konkurenční firmě s procesy a postupy vlastními s cílem ohlašovat silné a slabé stránky organizace.

Stanovené požadavky na jakost (požadavky veřejno-právní)

V této kategorii se jedná o záměry organizace vždy splnit požadavky na jakost stanovené zákazníkem ve smlouvě a dále veškeré veřejno-právní dokumenty, které mohou mít charakter závazný (zákon, vyhlášky, předpisy), nebo nezávazný (normy).

Vyspělý průmyslový podnik bude vždy usilovat o to, aby veškeré požadavky na jakost výrobků stanovené v legislativě byly splněny.

Jedná se o splnění ustanovení obchodního zákoníku, zákona na ochranu spotřebitele, ale i veškerých právních předpisů, které se vztahují k vývoji, výrobě a provozování výrobků (např. vyhlášky o technické bezpečnosti tlakových nádob, jeřábů, elektrotechn. zařízení, o jaderné bezpečnosti komponent JE, bezpečnostní předpisy, zákonné předpisy na ochranu životního prostředí apod.).

Přitom výrobce, ale i ten subjekt, který uvádí výrobek na trh, musí znát a respektovat jak národní legislativu, tak i právní předpisy platné v zemi, kde bude výrobek užíván. To znamená například dodávat výrobky na trh ES pouze za podmínky, že tyto splňují závazné požadavky na jakost určitých výrobků, které jsou stanovené v příslušných směrniciích ES (Directives EC). Např. ve směrnici pro tlakové nádoby se jednoznačně stanoví podle provozních techn. parametrů, že výrobce může uvést tlakovou nádobu do oběhu na ES (ale i zemi ESVO !) pouze za podmínky, že má certifikovaný systém jakosti dle norem ISO řady 9000.

Obdobný přístup platí i v oblasti kotlů, tlakových nádob a zejména komponent JE pro jejich výrobce a dodavatele, kteří musí prokazovat, že v praxi uplatňují systém jakosti dle požadavků předpisů ASME code. U této kategorie se tedy jedná o systematicky vyvíjený tlak ze strany státních orgánů na výrobce, jakožto prevence proti uvádění nejakostních, tj. nebezpečných výrobků do oběhu - to vše v zájmu ochrany práv občanů příslušného státu, států ES nebo ESVO.

Cíle interní (interní zájmy organizace)

Mezi zvláště významné cíle v této oblasti patří podnikatelský záměr dosahovat trvale rostoucí míry zisku, a to při cenách svých výrobků, které akceptuje zákazník (při konkurenceschopných cenách) a současně při klesajících nákladech uvnitř podniku (hospodárnosti), viz. znázorněný trojúhelník v předchozím obrázku.

Nutno si zvláště uvědomit, že tlak na plnění interních podnikatelských cílů vytvářejí vlastníci (akcionáři) a vedení organizace, které zodpovídá za stanovení koncepce (strategie) jakosti a za její realizaci. V koncepci jakosti stanoví vedení takové celkové a dlouhodobé záměry v oblasti zabezpečování jakosti výrobků a služeb, prostřednictvím kterých mají být současně vytvářeny potřebné podmínky pro splnění cílů v oblasti jakosti ve všech třech kategoriích.

Pro realizaci koncepce jakosti formuluje a vyhláší vedení organizace Program zavádění systému jakosti dle mezinárodně uznávaných norem a na jeho udržování a další postupný rozvoj.

14.1.2. Komplexní řízení jakosti - TQM

S rostoucí náročností na jakost výrobků byl zahájen u vyspělých světových producentů přechod k uplatňování moderní koncepce komplexního řízení jakosti (Total Quality Management). Výrazem tohoto přechodu je, že vedení podniku, v jehož kompetenci je strategické řízení, vytváří a zavádí celopodnikovou strategii jakosti, která musí být v souladu s dalšími, podnikovými strategiemi, zejména s výrobkově - tržní strategií a finanční strategií podniku.

Hlavní znaky komplexního řízení jakosti (TQM)

Komplexní řízení jakosti v podniku narozdíl od dosud používaných metod řízení jakosti vyžaduje :

- důslednou orientaci na neustále se vyvíjející přání, názory a požadavky uživatele výrobků
- zapojení všech činností probíhajících ve všech podnikových útvarech do komplexní péče o jakost procesů a výrobků v podniku
- zapojení všech pracovníků podniku do nikdy nekončícího procesu zlepšování jakosti vlastní práce a zabezpečování jakosti výrobků a služeb - cílem je, aby za účasti všech řídicích a výkonných pracovníků podniku bylo dosahováno co nejvyšší efektivity veškerých procesů probíhajících v podniku
- vytváření systémů vnitřních zákazníků uvnitř podniku ("Následující proces je naším zákazníkem")
- soustavné úsilí o optimální, nejúčelnější a nejhospodárnější provádění všech činností, operací a procesů v podniku srovnatelné s vyspělými konkurenty (uplatňování principu "zero defects" - Udělej vše hned správně napoprvé)

Základní koncepční přístupy při uplatňování zásad TQM :

- jako základ při uplatňování zásad TQM zavést a neustále rozvíjet dokumentovaný systém jakosti zahrnující jak všechny pracovníky podniku, tak i všechny jeho subdodavatele,
dokumentovaný systém jakosti přitom musí pokrývat veškeré činnosti v podniku včetně činností vykonávaných vrcholovým vedením podniku,
systém jakosti není cílem, ale prostředkem k dosažení stanovených cílů v oblasti jakosti, který musí vytvářet podmínky a předpoklady k uplatňování zásad "Udělej vše správně napoprvé"
- trvale prosazovat v celém podniku kulturu komplexního zabezpečování jakosti, vštěpovat ji všem řídicím i výkonným pracovníkům podniku - jde o kulturu, která podporuje a rozvíjí snahy o zlepšování jakosti vlastní práce i jakosti výrobků a služeb u každého pracovníka
- trvale se orientovat na zákazníky a na jejich soustavné uspokojování napoprvé a pokaždé, soustavně sledovat a vyhodnocovat požadavky interních i externích zákazníků - jde o zjišťování současných i budoucích přání a požadavků zákazníků, věnovat pozornost jejich názorům na dnešní výrobky a služby a zajišťovat, aby k těmto požadavkům a názorům přihlíželi všichni pracovníci podniku
- zaměřit se na soustavné zvyšování úrovně jakosti s využíváním statistických metod řízení procesů (Statistical Process Control)
- zaměřit se na prevenci, tzn. na předcházení nedostatků namísto následného řešení jejich důsledků

Úspěšné zavedení komplexního řízení jakosti a jeho účinné uplatňování vyžaduje splnění tří základních podmínek :

1) Manažerské řízení :

Bez manažerského řízení nelze dosáhnout žádného podstatného pokroku v rozvoji kultury práce, která má být zaměřena na trvalé zvyšování jakosti. Čím hlubší a rozsáhlejší jsou zamýšlené záměry vedení podniku, tím potřebnější jsou znalosti a aktivní přístup všech vedoucích manažerů podniku.

Svoji zodpovědnost za řízení změn v systému jakosti a kultuře práce v podniku nemůže vedoucí manažer delegovat na nižší složky - musí být v tomto procesu sám zaangažován.

2) Plné zapojení všech pracovníků podniku

Vedení podniku musí podněcovat zapojení všech zaměstnanců do procesů péče o jakost a zvyšování úrovně jakosti.

Účinné zapojení všech pracovníků podniku však není myslitelné bez trvalé přípravy a vzdělávání v oblasti řízení jakosti a beze změn ve struktuře řízení zaměřených na uplatňování zásad týmové práce.

3) Používání statistických metod řízení procesů

Jedná se o praktickou aplikaci statistických metod při kontrole výrobků (statistické přejímky měřením či srovnáváním), při sledování spolehlivosti výrobků, při provádění analýzy příčin vad a jejich následků, v procesu vývoje nových výrobků a pod.

Důležitým faktorem při komplexním řízení jakosti je používání získaných dat a statistických metod pro plánování a řízení procesů, pro zjišťování problémů a jejich řešení, pro rozhodování a jejich sledování, zda a jak se daří zvyšovat úroveň jakosti výrobků. Tato silná zpětná vazba v systému řízení je motorem jeho dalšího zdokonalování.

14.2. Normy ISO řady 9000

14.2.1. Účel a podstata norem ISO řady 9000

Normy ISO řady 9000 tvoří strukturu norem zaměřených na řízení a zabezpečování jakosti byly postupně od roku 1987 vydávány organizací ISO (International Organisation for Standardisation) jakožto normy nezávazné (doporučující), avšak s rozsáhlou globální aplikací ve všech hospodářsky vyspělých zemích, které tyto normy postupně zavedli do svého normalizačního systému.

Normy ISO řady 9000 byly převzaty v souvislosti s vytvářením jednotného trhu zemí ES a ESVO a s uplatňováním principu certifikace systému jakosti v tomto evropském hospodářském prostoru do soustavy jednotných evropských norem pod označením EN řady 29 000. Normy ČSN ISO řady 9000 jsou postupně vydávány od roku 1992.

Účelem norem ISO řady 9000 je především :

- poskytnout formou doporučených ustanovení a zásad všem výrobcům a dodavatelům služeb návod, jak aplikovat moderní metody řízení a zabezpečování jakosti ve svém podniku - resp. jaké zásady, metody a postupy mají zavádět, udržovat a rozvíjet u veškerých procesů ovlivňujících jakost dodávek tak, aby požadovaná úroveň jakosti byla dosahována a neustále řízeným postupem zvyšována
- stanovit základní modely systému jakosti, které mohou být využívány v dodavatelsko-odběratelských vztazích (ve smluvních vztazích) a mohou být jakožto ucelený model posuzovány nezávislým certifikačním orgánem v procesu prokazování shody systému jakosti podniku s požadavky norem ISO řady 9000.

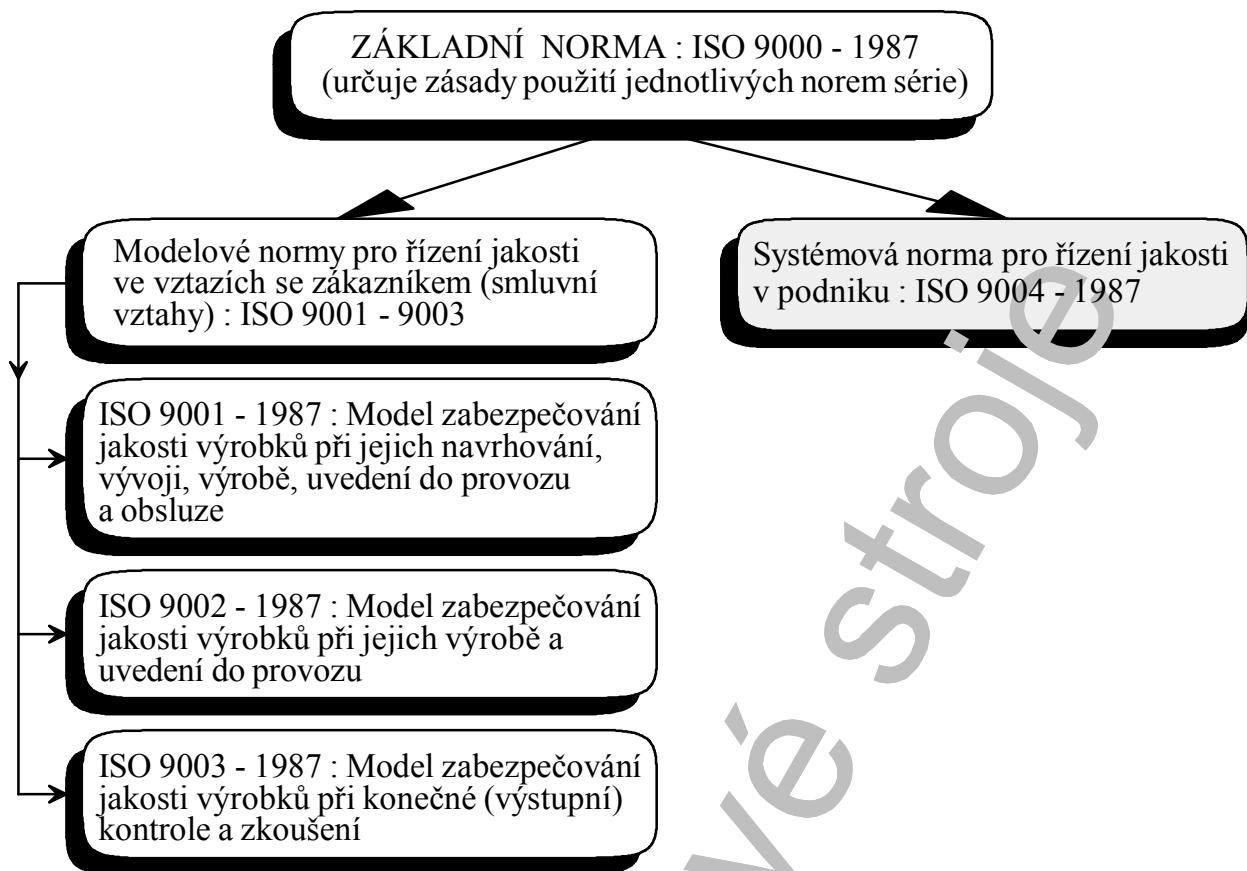
Hlavní cíle zaváděného systému jakosti podniku jsou dle normy ISO 9000 následující:

- 1) Dosáhnout a udržovat jakost výrobku nebo služby na takové úrovni, aby byla **soustavně** uspokojována stanovená nebo **předpokládaná potřeba zákazníka**.
Výraz **soustavně** přitom znamená trvale a bez výkyvů udržovat vysokou úroveň jakosti (např. dosahování určitých jakostních parametrů v co nejužší toleranci)
Termín **předpokládaná potřeba zákazníka** znamená, že při aplikaci přístupu "customer first" - zákazník na prvním místě se musí výrobce nebo dodavatel snažit vycházet vstříc i takovým potřebám zákazníka, které zákazník nebo uživatel není schopen sám jasně formulovat.
- 2) Dokázat (dokazovat) vlastnímu vedení, že stanovené úrovně jakosti se dosahuje a že tato úroveň jakosti je udržována (jedná se o tzv. "interní zabezpečování jakosti").
- 3) Poskytnout zákazníkovi jistotu, že dodávaný výrobek nebo služba má požadovanou nebo dohodnutou jakost - pokud je to stanoveno v obchodní smlouvě, mohou se oba partneři dohodnout na dokumentování této skutečnosti (jedná se o tzv. "externí zabezpečování jakosti").

14.2.2. Struktura norem ISO řady 9000

Základní normou této řady je norma ISO 9000, která stanoví zásady použití jednotlivých norem řady 9000 a uvádí základní pojmy, používané ve všech normách této řady.

Normy ISO 9001 až 9004 je možno rozdělit do 2 skupin.



1) První skupinu tvoří normy ISO 9001, 9002 a 9003 - modelové normy pro řízení jakosti ve vztazích se zákazníkem (obchodních smluvních vztazích). Na základě požadavků těchto norem se proto také provádí certifikace systému jakosti nezávislým certifikačním orgánem.

Normy v této skupině jsou seřazeny podle rozsahu procesů v průběhu životního cyklu výrobku, k nimž se vztahují požadavky na systém jakosti.

Nejrozsáhlejší část životního cyklu výrobku pokrývá norma ISO 9001, která stanoví požadavky na fázi navrhování a vývoje výrobků a proto se tato norma používá zejména u strojírenských a hutních podniků. Tyto podniky musí rovněž počítat s uplatněním na trhu pouze za podmínky, že mají systém jakosti zaveden a certifikován v souladu s požadavky normy ISO 9001.

Model zabezpečování jakosti dle normy ISO 9002 se používá u těch výrobců, kteří vyrábějí podle dodané technické dokumentace (např. stavební nebo montážní organizace, dodavatelé investičních celků, ale i velkoobchodní organizace zabývající se nákupem, skladováním a distribucí zboží - např. Feron a.s.

Model zabezpečování jakosti dle normy ISO 9003 je využíván v obchodních vztazích jen velmi zřídka, neboť samotná kontrola a zkoušení není pro zákazníky spolehlivou zárukou trvale vysoké úrovně jakosti dodávek.

2) Ve druhé skupině je norma ISO 9004, což je systémová norma uvádějící metodická doporučení pro zavádění systému jakosti v podniku a v jeho jednotlivých útvarech.

Od roku 1991 byly vydávány další normy ISO se zaměřením na řízení a zabezpečování jakosti, celá tato oblast norem zaznamenala zejména v roce 1993 velmi intenzivní rozvoj, jedná se např. o tyto normy:

v rámci ČSN:

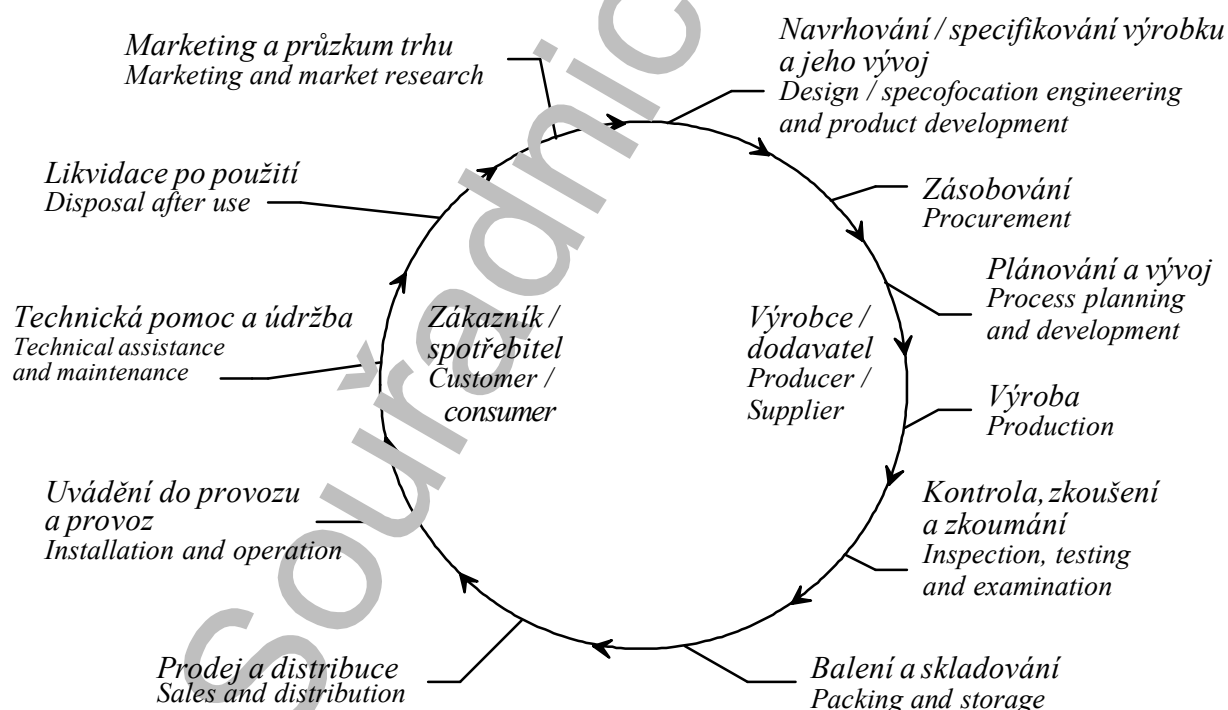
- norma ČSN ISO 8402 - Jakost, názvosloví
- normy ČSN ISO 10 011-1 až 3 - Plánování a provádění prověrek jakosti vč. kvalif. požadavků na auditory
- norma ČSN ISO 10 012 - Operativní řízení měřicího a zkušebního zařízení
- norma ČSN ISO 9004-2 - Řízení jakosti, směrnice pro služby
- norma ČSN ISO 9000-3 - Směrnice pro užití ISO 9001 při vývoji a dodávání počítačového software

v rámci ISO:

- komplexní revize norem ISO 9000 až 9004 v roce 1993
- norma ISO 9000-2 - Všeobecné směrnice pro zavádění systému jakosti dle ISO 9001, 9002, 9003
- norma ISO 9000-4 - Řízení spolehlivosti výrobků
- norma ISO 9004-3 - Směrnice pro zpracovávané produkty (tekutiny - ropa, oleje, chem. produkty)
- norma ISO 9004-4 - Směrnice pro zvyšování úrovně jakosti
- norma ISO 9004-5 - Směrnice pro plány jakosti
- norma ISO 9004-7 - Konfigurační řízení (projektování)
- norma ISO 10 013 - Směrnice pro příručky jakosti
- norma ISO 10 014 - Ekonomické aspekty jakosti

14.2.3. Kruh jakosti, podíl jednotlivých fází životního cyklu na jakosti

Kruh jakosti tak, jak je uveden v normě ISO 9004 je znázorněn na obrázku



Kruh jakosti slouží k praktickému demonstrování tří základních aspektů moderního řízení jakosti:

- 1) Jakost musí být zabezpečována ve všech fázích životního cyklu výrobku

- 2) Jakost musí zabezpečovat všechny útvary a všichni pracovníci, kteří v jednotlivých fázích životního cyklu výrobku mohou ovlivňovat jeho jakost, a to soustavným zvyšováním kvality vlastní práce.
- 3) Ve fázi vývoje, navrhování a projektu je nutno brát v úvahu celý životní cyklus výrobku a snažit se, aby výrobek byl "přátelský" k zákazníkovi - snadná obsluha, udržovatelnost, likvidace po vyřazení z provozu.

14.2.4. Podíl jednotlivých fází životního cyklu výrobku na jakosti

Podíl jednotlivých fází životního cyklu běžného strojírenského výrobku je následující:

Jakost koncepce a návrhu (= marketing, obchod. výzkum, vývoj a projekce)	50 %
Jakost výrobně-technické dokumentace (= konstrukce, technologie, nákup)	25 %

Jakost výroby	10÷15 %
Jakost konzervace, balení, skladování, přepravy	5÷10 %
Jakost montáže, provozování a údržby	5÷15 %

Rozhodující pro úspěšné postavení výrobce na trhu je tedy zvládnutí postupů zabezpečování jakosti v předvýrobní etapě, která se podílí cca na 75 % celkové jakosti výrobku.

14.2.5. Prvky systému jakosti dle normy ISO 9004

Jednotlivé články normy ISO 9004 lze rozdělit do 2 skupin:

- 1) Články, které uvádějí metodická doporučení pro průřezové vykonávané činnosti (prvky systému jakosti), které zasahují do celého nebo do několika částí životního cyklu výrobku: Jedná se o tyto prvky systému jakosti:

- 4 - Zodpovědnost vedení
- 5 - Zásady systému jakosti
- 6 - Ekonomika jakosti
- 3 - Operativní řízení měřicího a zkušebního zařízení
- 14 - Neshoda s požadavky
- 15 - Nápravná opatření
- 17 - Dokumentace a záznamy o jakosti
- 18 - Pracovníci
- 19 - Bezpečnost výrobku a právní zodpovědnost za výrobek
- 20 - Statistické metody

- 2) Články, které uvádějí metodická doporučení na činnost v jednotlivých konkrétních fázích životního cyklu výrobku, znázorněných v kruhu jakosti: Jedná se o tyto prvky systému jakosti:

- 7 - Jakost v obchodní činnosti
- 8 - Jakost při vypracování návrhu
- 9 - Jakost v nákupu
- 10 - Jakost ve výrobě
- 11 - Operativní řízení výroby

- 12 - Ověřování výrobku
- 16 - Manipulace a povýrobní funkce

14.3. Dokumentace systému jakosti

14.3.1. Dokumentace o jakosti

V současné době při zavádění a dalším rozvoji systému jakosti se klade značný důraz na dokumentaci o jakosti. V normách ISO řady 9000, ale i v předpisech ASME Code jsou požadavky na dokumentaci o jakosti u všech prvků striktně stanoveny.

Jsou kladeny rovněž přísné požadavky i na to, co všechno musí dokumentace obsahovat a jak se s ní má pracovat. Dokumentace o jakosti musí zejména:

- být jasná, jednoznačná, přehledná, srozumitelná a úplná
- vymezovat zodpovědnost konkrétních pracovníků za vypracování, přezkoumání a schválení příslušné dokumentace
- stanovit zásady pro provádění změnového řízení příslušné dokumentace
- vymezovat zodpovědnost konkrétních pracovníků za provádění činností
- stanovit chronologický postup provádění dané činnosti a technicko-organizační vazby
- stanovit způsob a formu zaznamenávání a dokladování výsledků činností
- stanovit způsob archivace a skartace příslušné dokumentace

Dokumentace o jakosti zahrnuje:

- písemné, grafické nebo jiné doklady (např. uložené v počítači) ve kterých jsou stanoveny organizační zásady a postup pro provádění činností ovlivňujících jakost, požadavky na jakost a zásady a postupy pro sledování, zda je požadované úrovně jakosti a účinnosti systému jakosti dosahováno

Příklady různých typů dokumentace o jakosti, které mají být operativně řízeny (tzn. podléhají změnovému řízení):

- příručka jakosti
- předpisy zabezpečování jakosti
- pokyny zabezpečování jakosti
- plány jakosti, program kontroly jakosti
- výkresy, materiálové specifikace, projektová dokumentace
- výpočty
- kontrolní a zkušební postupy
- technologická dokumentace - technologické postupy, technologické předpisy
- obchodní dokumentace
- metrologická dokumentace
- montážní dokumentace
- předpisy pro provoz a údržbu

Účelem dokumentace o jakosti je tedy zajišťovat důsledné provádění všech činností ovlivňujících jakost výrobků a služeb a správnou funkci systému jakosti s ohledem na stanovené záměry a cíle. Rovněž musí být vypracovány dokumenty stanovující požadovanou úroveň jakosti výrobku nebo služby.

14.3.2. Struktura dokumentace systému jakosti

Základní část dokumentace o jakosti tvoří dokumentace systému jakosti. Dokumentace systému jakosti, týkající se všech prvků systému jakosti musí být v podniku systematicky vypracována a udržována v trvale aktuálním stavu, zejména musí jednoznačně vymezovat:

KDO zodpovídá za **CO** a **JAK** činnost provádí

Musí být rovněž vypracovány předpisy stanovující požadavky na operativní řízení dokumentace, tzn. na přesné označování, distribuci a změnové řízení veškeré dokumentace systému jakosti. Struktura dokumentace systému jakosti je přehledně znázorněna ve formě známé "pyramidy" a zahrnuje:

- koncepci jakosti
- program zavádění systému jakosti
- příručku jakosti (QM - Quality Manual)
- předpisy zabezpečování jakosti (QP - Quality Procedures)
- pokyny zabezpečování jakosti (pracovní pokyny a instrukce) (QI - Quality Instructions)



KONCEPCE JAKOSTI (Quality Policy)

- celkové záměry a směry působení organizace v oblasti jakosti formulované vrcholovým vedením organizace; stanovuje základní cíle, které chce podnik dosáhnout v oblasti jakosti.

PROGRAM ZAVÁDĚNÍ SYSTÉMU JAKOSTI

- dokument, v němž vedení podniku stanoví souhrn úkolů a opatření, jejichž průběžné plnění vytváří předpoklady pro dosažení stanovených cílů v oblasti jakosti

PŘÍRUČKA JAKOSTI

- popisuje závazné zásady, zodpovědnosti a postupy uplatňované v systému jakosti příslušného podniku a zároveň slouží jako trvalý podklad pro udržování a další zdokonalování systému jakosti

PŘEDPISY ZABEZPEČOVÁNÍ JAKOSTI

- dokument, navazující bezprostředně na příslušnou kapitolu příručky jakosti, který stanoví technicko-organizační vazby, stanoví závazně zodpovědnosti, pravomoci a postup pro provádění daných činností, ovlivňujících jakost výrobku nebo služby v příslušné fázi životního cyklu, včetně stanoveného způsobu a formy záznamu potřebných informací (např. výsledků)

POKYNY ZABEZPEČOVÁNÍ JAKOSTI

- dokumenty, detailně popisující a stanovující závazný postup provádění příslušných činností ovlivňujících jakost, včetně stanoveného způsobu a formy záznamů potřebných informací.

14.3.3. Záznamy o jakosti

Výsledky činností ovlivňujících jakost musí být dokumentovány, aby bylo možno kdykoli v případě potřeby prokázat, že činnosti byly provedeny, že byly provedeny stanoveným způsobem a že zjištěné parametry jakosti odpovídaly stanoveným požadavkům.

Záznamy o jakosti jsou rovněž důležité pro zjišťování trendů v oblasti jakosti, pro stanovení preventivních a nápravných opatření a pro sledování a hodnocení účinnosti těchto opatření. Příklady různých typů záznamů o jakosti, které mají být operativně řízeny:

- protokoly o kontrolách, měření a zkouškách
- materiálové atesty
- záznamy o kalibraci měřících a zkušebních zařízeních
- protokoly o prověrkách jakosti
- rozborů jakosti
- protokoly o nákladech na jakost
- protokoly o způsobilosti pracovníků

Seznam odkazů na prvky systému jakosti

(pouze informativní, netvoří součást normy)

Kapitola (nebo článek) v ISO 9004	Název	Příslušné kapitoly (nebo články) v normách		
		ISO 9001	ISO 9002	ISO 9003
4	Odpovědnost vedení	4.1 ●	4.1 ◐	4.1 ○
5	Zásady systému jakosti	4.2 ●	4.2 ●	4.2 ◐

Kapitola (nebo článek) v ISO 9004	Název	Příslušné kapitoly (nebo články) v normách		
		ISO 9001	ISO 9002	ISO 9003
5.4	Prověra systému jakosti (interní)	4.17 ●	4.16 ◐	-
6	Ekonomika - Úvahy o nákladech spojených s jakostí	-	-	-
7	Jakost při marketingu (Přezkoumání smlouvy)	4.3 ●	4.3 ●	-
8	Jakost při zpracování specifikací a návrhu (Operativní řízení tvorby návrhu)	4.4 ●	-	-
9	Jakost v zásobování (Zásobování)	4.6 ●	4.5 ●	-
10	Jakost ve výrobě (Operativní řízení výrobního procesu)	4.9 ●	4.8 ●	-
11	Operativní řízení výroby	4.9 ◐	4.8 ●	-
11.2	Operativní řízení materiálu a návaznost (Identifikovatelnost výrobku a návaznost)	4.8 ●	4.7 ●	4.4 ◐
11.7	Operativní řízení stavu po ověřování (Stav po kontrole a zkouškách)	4.12 ●	4.11 ●	4.7 ◐
12	Ověřování výrobku (Kontrola a zkoušení)	4.11 ●	4.9 ●	4.5 ◐
13	Operativní řízení měřicího a zkušebního zařízení (Kontrolní měřicí a zkušební zařízení)	4.11 ●	4.10 ●	4.6 ◐
14	Neshoda s požadavky (Operativní řízení neshodného výrobku)	4.13 ●	4.12 ●	4.8 ◐
15	Opatření k nápravě	4.14 ●	4.13 ●	-
16	Manipulace a povýrobní funkce (Manipulace, skladování, balení a dodávání)	4.15 ●	4.14 ●	4.9 ◐
16.2	Servis po prodeji	4.19 ●	-	-
17	Dokumentace a záznamy o jakosti (Operativní řízení dokumentace)	4.5 ●	4.4 ●	4.3 ◐
17.3	Záznamy o jakosti	4.6 ●	4.15 ●	4.10 ◐
18	Pracovníci (Příprava pracovníků)	4.18 ●	4.17 ◐	4.11 ○
19	Bezpečnost výrobku a odpovědnost za výrobek	-	-	-
20	Použití statistických metod (Statistické metody)	4.2 ●	4.18 ●	4.12 ◐
-	Výrobky dodané odběratelem	4.7 ●	4.6 ●	-

Vysvětlivky :

- - plně citovaný požadavek
- ◐ - méně přísný než v ISO 9001
- - méně přísný než v ISO 9002
- - prvek není uveden

Poznámky :

1. Názvy kapitol nebo článků, které jsou citovány ve výše uvedené tabulce, byly převzaty z ISO 9004; názvy v závorkách byly převzaty z příslušných kapitol a článků ISO 9001, ISO 9002 a ISO 9003.
2. Je nutné si uvědomit skutečnost, že požadavky na prvky systému jakosti uvedené v ISO 9001, ISO 9002 a ISO 9003 jsou v mnoha případech, ale ne ve všech stejné.

SROVNÁVACÍ TABULKA NOREM ISO 9001, 9002 A 9003			
Článek normy ISO 9001	Název článku	Článek normy	
		ISO 9002	ISO 9003
4.1.	Odpovědnost vedení	4.1.	4.1.
4.2.	System jakosti	4.2.	4.2.
4.3.	Přezkoumání smlouvy	4.3.	-
4.4.	Řízení tvorby návrhu	-	-
4.5.	Řízení dokumentace	4.4.	4.3.
4.6.	Zásobování	4.5.	-
4.7.	Výrobky dodané odběratelem	4.6.	-
4.8.	Identifikovatelnost a návaznost výrobku	4.7.	4.4.
4.9.	Řízení výrobního procesu	4.8.	-
4.10.	Kontrola a zkoušení	4.9.	4.5.
4.11.	Kontrolní, měřicí a zkušební zařízení	4.10.	4.6.
4.12.	Stav výrobku po kontrole a zkoušení	4.11.	4.7.
4.13.	Kontrola neshodného výrobku	4.12.	4.8.
4.14.	Opatření k opravě	4.13.	-
4.15.	Manipulace, skladování, balení a dodávání	4.14.	4.9.
4.16.	Záznamy o jakosti	4.15.	4.10.
4.17.	Vnitropodnikové prověrky jakosti	4.16.	-
4.18.	Příprava pracovníků	4.17.	4.11.
4.19.	Servis	-	-
4.20.	Statistické metody	4.18.	4.12.