

8 PREPOJENIE KONŠTRUKCIE A METROLÓGIE V PRAXI (MERANIE NA SÚRADNICOVÝCH MERACÍCH STROJOCH)

Úvod

Významným prostriedkom komunikácie technických odborníkov na celom svete je technické kreslenie. Jeho znalosť je nevyhnutná na čítanie a tvorbu technickej dokumentácie. Technické kreslenie je nástrojom používaným pri vývoji výrobkov, pri ich výrobe, distribúcii, využívaní, údržbe, opravách i likvidácii. Využíva sa pri opise technických procesov a výrobných technológií, v návodoch na používanie a údržbu, v najrôznejších dokumentoch technického charakteru.

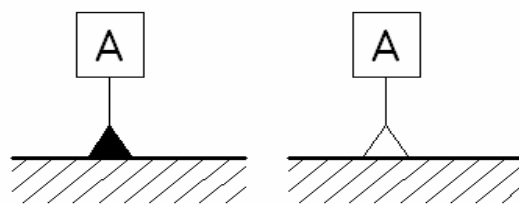
V posledných rokoch sa technické kreslenie stalo globálnym problémom, pretože výmena technických informácií na celom svete sa neustále zintenzívňuje. Pravidlá technického kreslenia definované v normách ISO vytvárajú na to univerzálny, na celom svete zrozumiteľný dorozumievací prostriedok (Čillík, 2012).

Súčasnú požiadavku na kvalitu a presnosť vyrábaných súčiastok si preto vyžadujú významný dôraz na prepojenie konštrukcie a metrologie a zjednotenie vnímania výkresovej dokumentácie z pohľadu konštruktéra, ktorý ju navrhuje a z pohľadu metrológa, ktorý konkrétnu súčiastku meria a vyhodnocuje jej kvalitu na základe výkresovej dokumentácie. Častým problémom vyskytujúcim sa vo viacerých strojárskych firmách je, že dvaja metroológovia môžu zmerať tú istú súčiastku pomocou toho istého zariadenia s rôznym výsledkom jej presnosti. Tieto rozdiely môžu vzniknúť na základe nejednoznačného kótovania, a teda na základe rôznej interpretácie merania určitého prvku. Pokiaľ konštruktér nezakóduje súčiastku jednoznačne, vytvára sa priestor na chyby a variabilitu rôznych metód na meranie a vyhodnocovanie. Nie všetci metroológovia, operátori, programátori majú rovnakú vedomostnú základňu a praktickú skúsenosť a môže sa stať, že rovnaká súčiastka bude v jednom prípade vyhodnotená ako nezhodný výrobok a v inom prípade zhodný výrobok. Napríklad pri meraní kruhovitosti otvoru bez udania výšky rezu vzhľadom na plochu nastáva možnosť získania rôznych výsledkov. Ďalším problémom môže byť nezadeinovanie metódy vyhodnotenia, filtrácie alebo rozdielne vnímanie základní, kedy konštruktér ich vníma z hľadiska ich funkčnosti najčastejšie ako dosadacie plochy, pričom metroológ ich potrebuje mať voľné na nasnímanie ich čo najväčšej plochy.

Z týchto poznatkov z praxe sa vynárajú rôzne požiadavky na doplnenie obsahovej náplne odborných predmetov univerzitného vzdelávania v študijnom odbore Strojárstvo, ako aj rôznych doplnkových kurzov a školení odborníkov z praxe, so zameraním na problematiku konštrukcie z pohľadu metrologie (Design for Metrology).

8.1 Základne pre geometrické tolerancie

Základňa je teoreticky presný geometrický prvok (napr. os, rovina, priamka) a na ňu sa vzťahuje tolerovaný prvok. Základne môžu byť tvorené jedným alebo viacerými základnými prvkami na súčiastke. Základný prvok je skutočným prvkom na súčiastke (napr. hrana, plocha, diera), ktorý je použitý na určenie základne. Základný prvok nemá obvykle vyrobený presný geometrický tvar. Ak je to účelné, môžu sa mu predpísať tolerancie. Náhradný základný prvok je skutočný povrch zodpovedajúceho správneho tvaru (napr. doska, ložisko, hriadeľ), ktorý sa dotýka základného prvku a je použitý na definovanie základne.

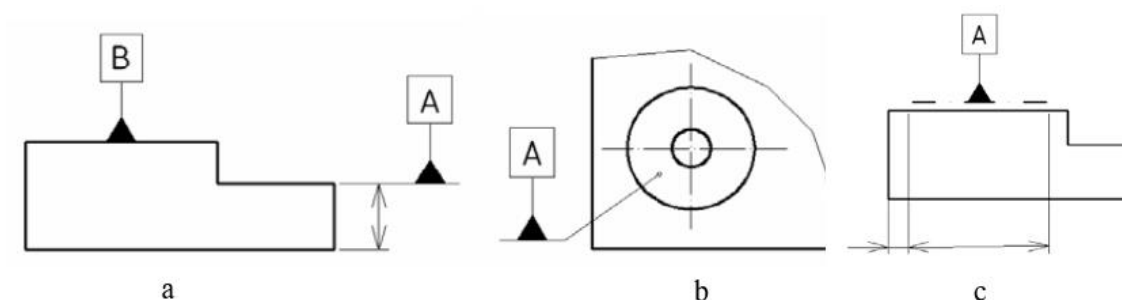


Obr. 8.1. Označenie základného prvku základne (Lacko et al., 2010)

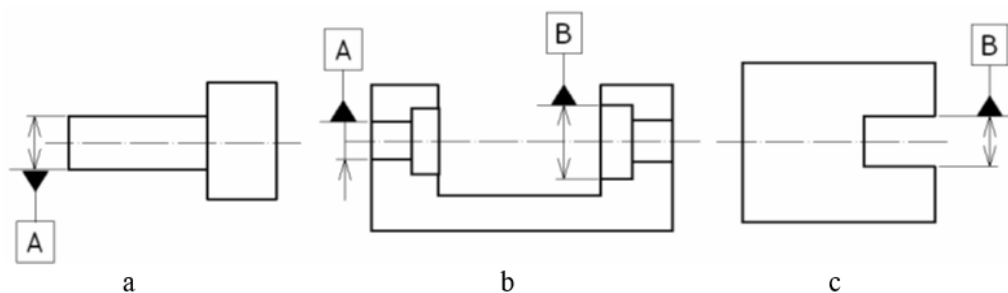
Prvky označené ako základne majú zákonite určité výrobné nepresnosti. Môžu byť vyrobené vypuklé, vyduté alebo kužeľovité. Základňa sa na výkrese označuje veľkým písmenom abecedy v rámečku, spojenom odkazovou čiarou ukončenou trojuholníkom na príslušnom prvku súčiastky (Obr. 8.1). **Základňou môže byť priamka, os alebo rovina.**

Trojuholník s písmenovým označením základne sa musí umiestniť:

- na obrysú čiaru prvku alebo na jej predĺžení (Obr. 8.2a),
- na odkazovú čiaru, ktorá označuje plochu základného prvku (Obr. 8.2b),
- na hrubú bodkočiarkovanú čiaru, ak sa základňa vzťahuje iba na obmedzenú časť prvku (Obr. 8.2c),
- na predĺženie kótovacie čiaru (Obr. 8.3a), ak základňou je os (Obr. 8.3b) alebo stredná rovina (Obr. 8.3c), alebo bod (Lacko et al., 2010).

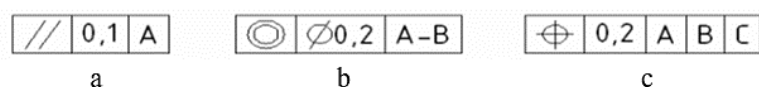


Obr. 8.2. Umiestnenie základní (Lacko et al., 2010)



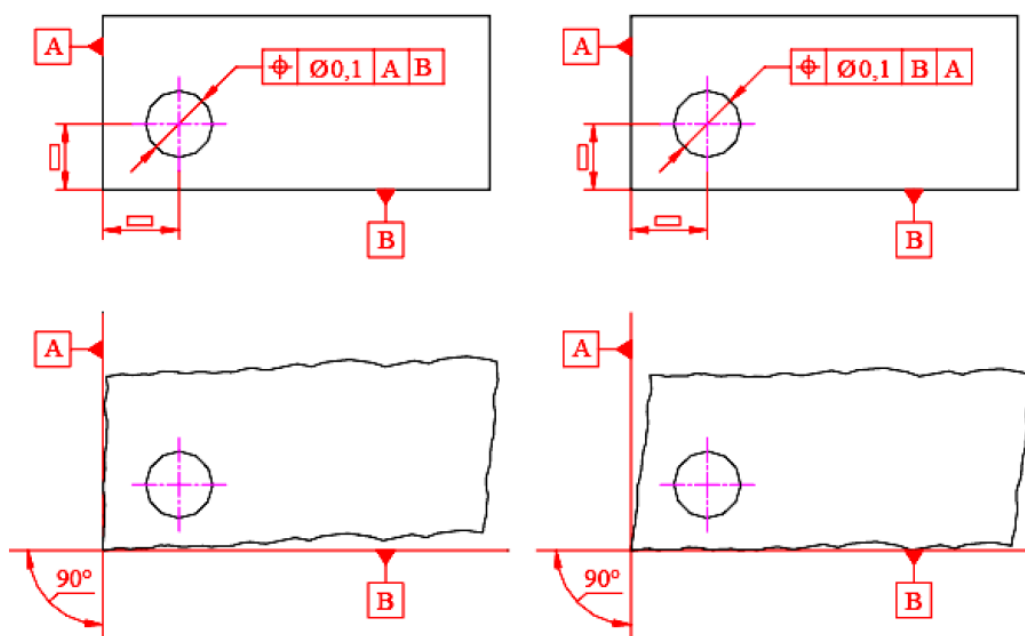
Obr. 8.3. Umiestnenie základní na predĺženie kótovacie čiaru (Lacko et al., 2010)

Ak sústavu základní tvoria dva alebo tri prvky, uvádzajú sa v poradí podľa dôležitosti zľava doprava v oddelených poliach tolerančného rámčeka podľa Obr. 8.4c.



Obr. 8.4. Možnosti umiestnenie základní v tolerančnom rámčeku (Lacko et al., 2010)

Správny zápis poradia základní je veľmi dôležitý, pretože určuje poradie odoberania stupňov voľnosti súčiastke pri jej upínaní a meraní. Niekedy sa namiesto základne používa aj základný systém. Je to skupina dvoch alebo viacerých oddelených základní, ktoré sa používajú ako združené vzťahné základne tolerovaných útvarov. Základne môžu byť založené na jednom alebo viacerých základných útvaroch súčiastky (Görög a Samardžiová, 2016). Pri použití základného systému – sústavy základní je dôležité poradie, v ktorom sú základne uvedené (Obr. 8.5).



Obr. 8.5. Sústava základní – porovnanie poradia základní (Görög a Samardžiová, 2016)

8.2 Geometrické tolerovanie

Geometrické tolerovanie definuje norma STN EN ISO 1101. Geometrické tolerancie sa musia určiť podľa funkčných požiadaviek. Požiadavky výroby a kontroly môžu tiež ovplyvňovať geometrické tolerovanie. Údaje o geometrických toleranciách na výkrese však nemusia ešte nevyhnutne znamenať používanie určitej metódy výroby, merania alebo kontroly. Geometrická tolerancia aplikovaná na prvok definuje tolerančnú zónu, v ktorej sa musí tento prvok nachádzať (Görög a Samardžiová, 2016).

Rozdelenie geometrických tolerancií je uvedené v Tab. 8.1. Rozoznávame geometrické tolerancie tvaru, profilu, orientácie, polohy a hádzania.

Tabuľka 8.1. Rozdelenie geometrického tolerovania (Čillík, 2012)

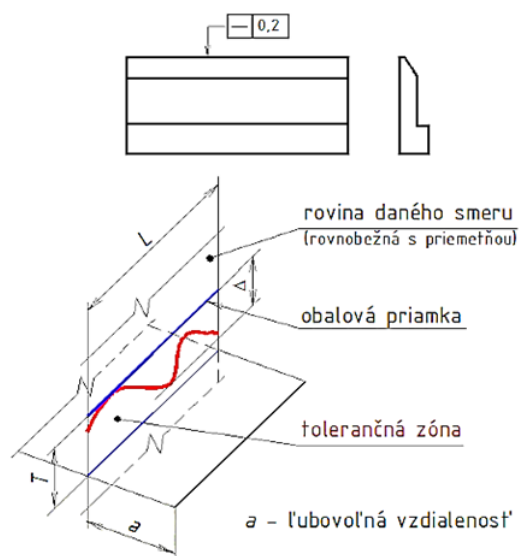
Tolerancie	Tolerované charakteristiky	Značka	Je potrebná základňa
Tvaru	Priamosť	—	nie
	Rovinnosť		nie
	Kruhovitosť		nie
	Valcovitosť		nie
Profilu	Profil ľubovoľného profilu		nie/áno
	Profil ľubovoľného povrchu		nie/áno
Orientácie	Rovnobežnosť		áno
	Kolmosť		áno
	Sklon		áno
Polohy	Umiestnenie		nie/áno
	Sústrednosť a súosovosť		áno
	Súmernosť		áno
Hádzania	Kruhové hádzanie		áno
	Celkové hádzanie		áno

8.2.1 Tolerancie tvaru

Ide o najväčšie odchýlky tvaru. Sú to odchýlky skutočných (nameraných) priamok, plôch, profilov a iných prvkov od ich ideálnych geometrických tvarov.

• Tolerancia priamosti

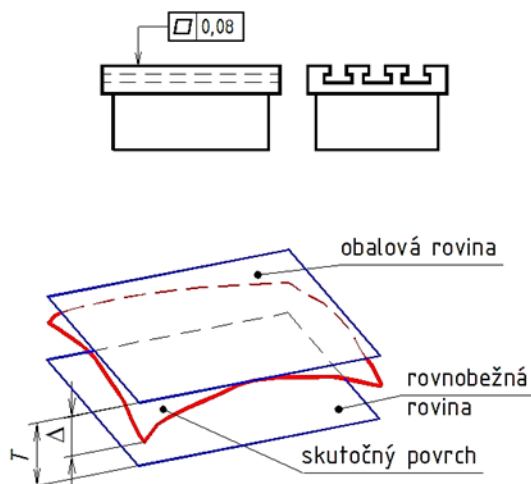
Tolerancia je vyhovujúca, ak skutočná (nameraná) priamka leží medzi dvoma rovnobežnými priamkami vzdialenými od seba o hodnotu tolerancie (Obr. 8.6).



Obr. 8.6. Priamosť (Čillík, 2012)

- **Tolerancia rovinnosti**

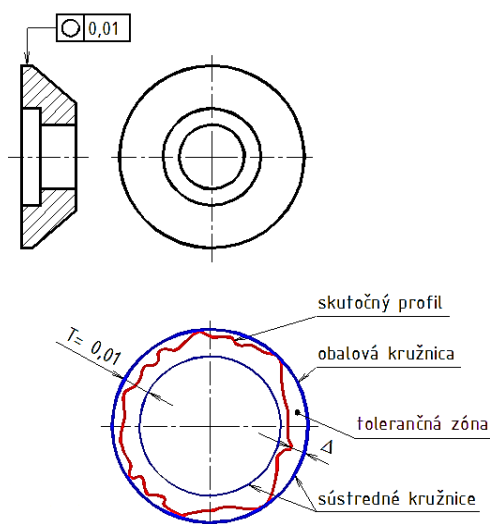
Tolerancia je vyhovujúca, ak skutočná (nameraná) rovina leží medzi dvoma rovnobežnými rovinami vzdialenými od seba o hodnotu tolerance (Obr. 8.7).



Obr. 8.7. Rovinnosť (Čillík, 2012)

- **Tolerancia kruhovitosti**

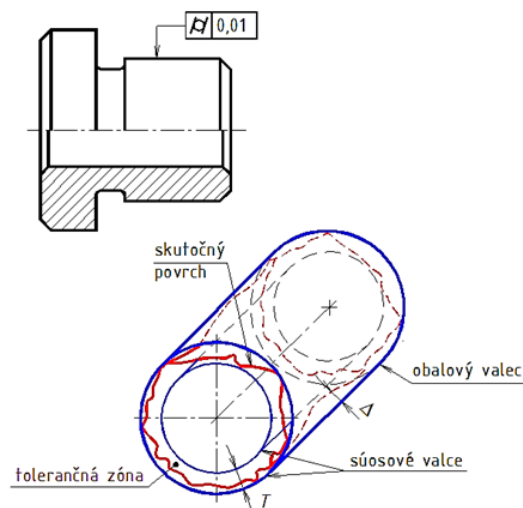
Tolerancia je vyhovujúca, ak skutočný kruhový profil leží medzi dvoma sústrednými kružnicami, keď rozdiel priemeru sústredných kružníc (šírka medzikružia) je hodnota tolerance (Obr. 8.8).



Obr. 8.8. Kruhovitosť (Čillík, 2012)

- **Tolerancia valcovitosti**

Tolerancia je vyhovujúca, ak skutočná valcová plocha leží medzi dvoma sústrednými valcami, keď rozdiel priemeru sústredných valcov (šírka steny dutého valca) je hodnota tolerance (Obr. 8.9).

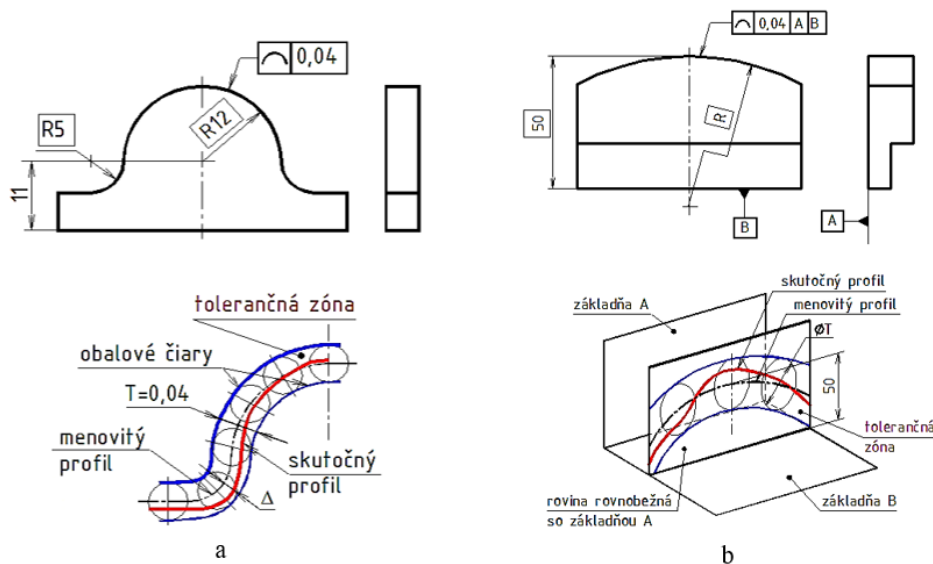


Obr. 8.9. Valcovitosť (Čillík, 2012)

8.2.2 Tolerancie profilu

Tieto niektorí autori priradujú ku toleranciám tvaru, orientácie aj polohy. Tolerancie profilu ľubovoľného obrysu (Obr. 8.10) alebo povrchu (Obr. 8.11) možno rozdeliť na tolerancie s tolerovaním tolerančnej zóny alebo bez tolerovania tolerančnej zóny ku základni alebo ku niekoľkým základniám.

- Tolerancia profilu ľubovoľného obrysu

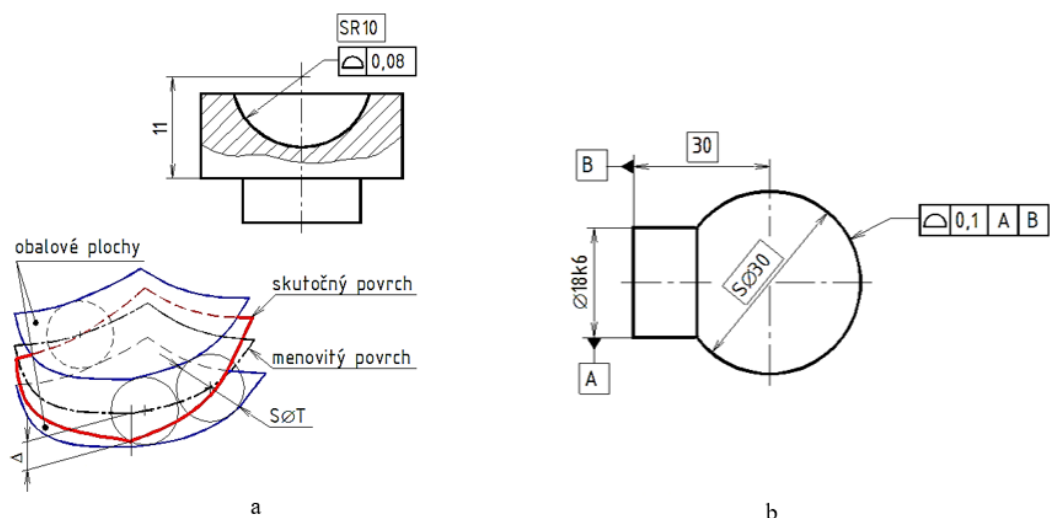


Obr. 8.10. Tolerancia profilu ľubovoľného obrysu (Čillík, 2012)

a – bez tolerovania tolerančnej zóny ku základni,

b – s tolerovaním tolerančnej zóny ku niekoľkým základniám

- **Tolerancia profilu ľubovoľného povrchu**



Obr. 8.11. Tolerancia profilu ľubovoľného povrchu (Čillík, 2012)

a – bez tolerovania tolerančnej zóny ku základni,

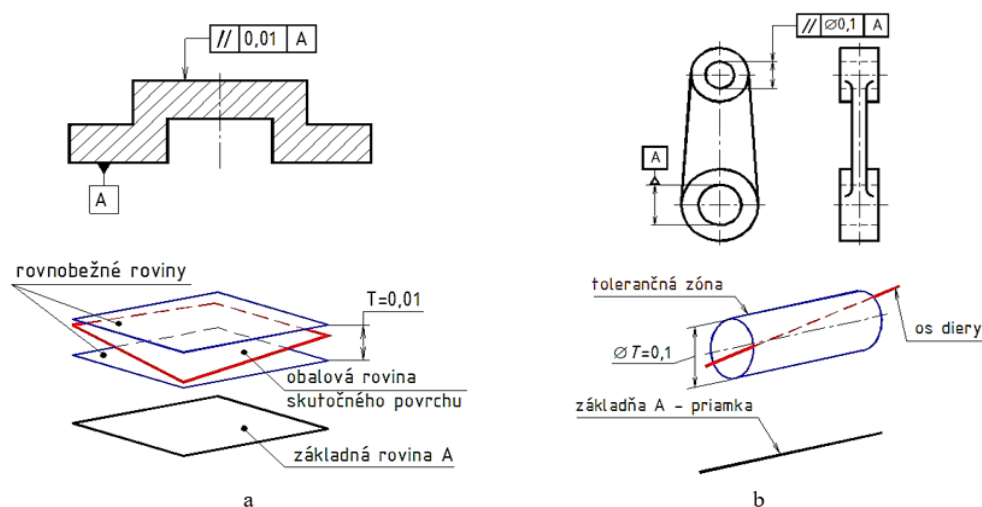
b – s tolerovaním tolerančnej zóny ku niekoľkým základňam

8.2.3 Tolerancie orientácie

V prípade tolerancií orientácie hovoríme o tzv. združených geometrických toleranciách, posudzujúcich okrem orientácie skutočného prvku aj jeho tvar ako odchýlku od menovitého prvku. Orientácia je vzťahovaná ku jednej alebo niekoľkým základňam.

- **Tolerancia rovnobežnosti**

Môže sa týkať viacerých geometrických prvkov, napr. rovnobežnosť rovín, priamok, valcov a atď. Tolerancia je vyhovujúca, ak meraný element leží medzi dvoma rovnobežnými prvkami toho istého typu vzdialenými od seba o hodnotu tolerancie a orientovanými vzhľadom na definovanú základňu (Obr. 8.12).

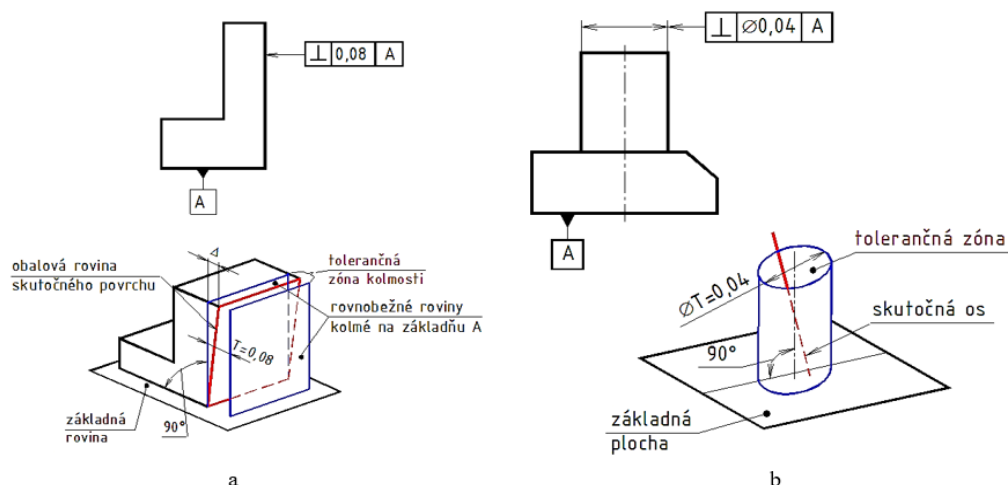


Obr. 8.12. Tolerancia rovnobežnosti (Čillík, 2012)

a – dvoch rovín, b – dvoch priamok – osi valca

• Tolerancia kolmosti

Táto tolerancia sa aplikuje na roviny (Obr. 8.13a) a valcové plochy. Tolerancia je vyhovujúca v prípade, že vyhodnocovaná rovina leží celá medzi dvoma ideálnymi rovnobežnými rovinami vzdialenými od seba o hodnotu tolerancie kolmosti a súčasne kolmými na definovanú základňu. Tolerančná zóna je valcová, ak pred hodnotou tolerancie je značka priemeru $\varnothing$ (Obr. 8.13b).

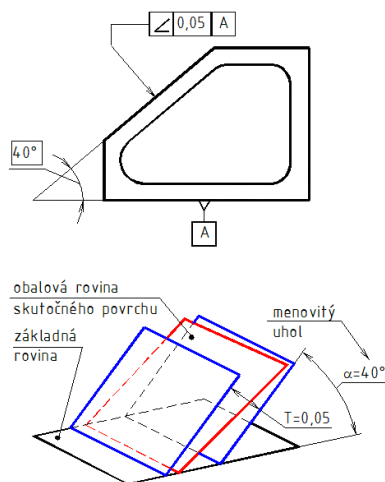


Obr. 8.13. Tolerancia kolmosti (Čillík, 2012)

a – pre rovinu, b – valec

• Tolerancia sklonu

Tolerancia sklonu (Obr. 8.14) býva často zamieňaná s hodnotením hodnoty uhla. V prípade hodnotenia sklonu je potrebné, aby bola nominálna hodnota uhla zadaná vo výkresovej dokumentácii v stupňoch, avšak výsledná hodnota tolerancie bude odchýlka v milimetroch. Vyhovujúca je vtedy, keď skutočná plocha leží celá medzi dvoma rovnobežnými rovinami, vzdialenými o hodnotu tolerancie, ktoré sú súčasne naklonené pod zadaným uhlom voči označenej základni.



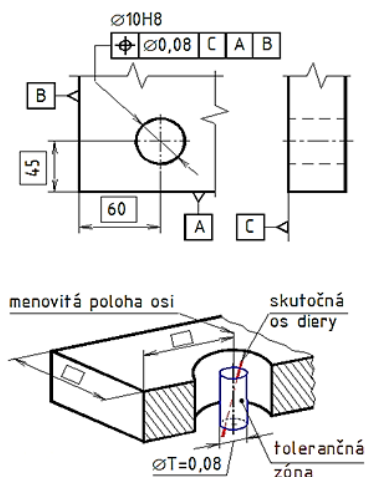
Obr. 8.14. Tolerancia sklonu (Čillík, 2012)

8.2.4 Tolerancie polohy

Tolerancie polohy tiež patria do skupiny združených geometrických tolerancií, pretože okrem polohy skutočného prvku sa posudzuje aj jeho tvar a orientácia ako odchýlka od menovitého prvku. Poloha je vzťahovaná ku jednej alebo niekoľkým základniám.

- **Tolerancia umiestnenia – polohy**

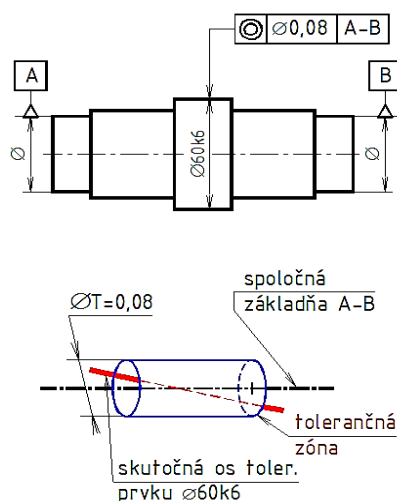
Tolerancia je vyhovujúca, ak celá os prvku leží vo vnútri valca, ktorý má priemer v hodnote zadanej tolerancie (Obr. 8.15).



Obr. 8.15. Tolerancia umiestnenia (polohy) (Čillík, 2012)

- **Tolerancia sústrednosti a súosovosti**

Tolerancia je vyhovujúca v prípade, že skutočná os tolerovaného prvku leží celá vo valci priemeru hodnoty tolerancie vytvoreného okolo základne alebo spoločnej osi vytvorenej z viacerých základní (Obr. 8.16).

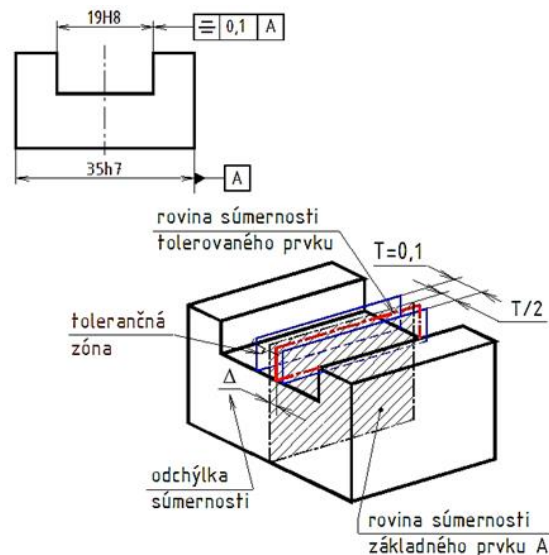


Obr. 8.16. Tolerancia súosovosti (Čillík, 2012)

Tolerancie sústrednosti a súosovosti majú rovnakú značku, avšak v prípade dvoch stredov kružníc hovoríme o sústrednosti a v prípade 3D elementov (valcov) hovoríme o súosovosti osí (priamok).

- **Tolerancia súmernosti**

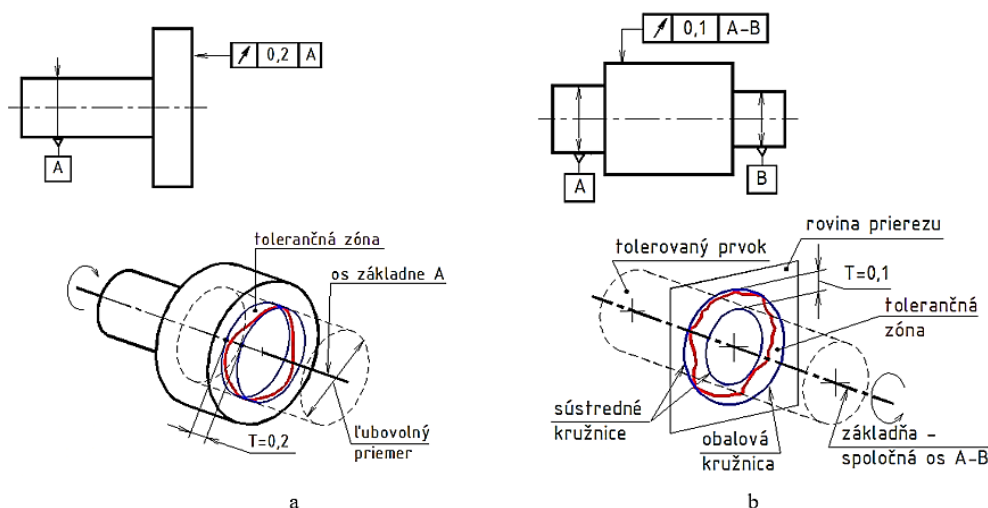
Skutočná tolerovaná rovina musí ležať medzi dvoma rovnobežnými rovinami vzdialenými od seba o hodnotu tolerancie a umiestnenými súmerne ku rovine základne. Vtedy môžeme toleranciu považovať za vyhovujúcu (Obr. 8.17).



Obr. 8.17. Tolerancia súmernosti (Čillík, 2012)

8.2.5 Tolerancie hádzania

V zásade ide o tolerancie polohy, avšak pri ich výpočte sa nevylučujú odchýlky tvaru, a teda ich môžeme začleniť medzi združené tolerancie. Odlišuje sa obvodové a čelné hádzanie v závislosti od posudzovaného – tolerovaného prvku, či ide o hádzanie vzhľadom ku rovine alebo k rotačnému prvku. Každá z týchto tolerancií je posudzovaná v ľubovoľných rezoch ako je možno vidieť na Obr. 8.18.



Obr. 8.18. Tolerancie hádzania (Čillík, 2012)
a – čelného, b – obvodového

Vyššie uvedené geometrické tolerancie sú jasne definované normou, a teda ich vyhodnotenie pri následnej kontrole súčiastok nie je zameniteľné. Avšak aj napriek jasnosti definícií je často stávajúcim sa javom rozdielnosť vo výsledkoch pri meraní toho istého dielu tým istým meracím zariadením rôznymi operátormi. Táto rozdielnosť môže byť daná variáciou možností nastavenia spôsobov vyhodnotenia jednotlivých geometrických prvkov. Pokiaľ nebude jednoznačne zadefinovaná napríklad metóda vyhodnotenia jednoduchého geometrického prvku, budú výsledky ovplyvnené voľbou metrológa.

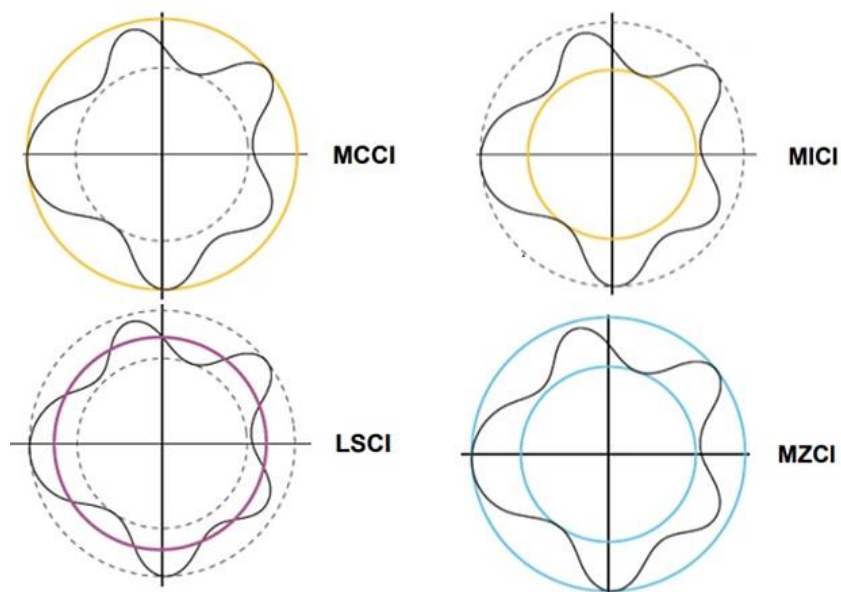
8.3 Metódy vyhodnotenia geometrických prvkov

Na vyhodnotenie každého jedného nasnímaného skutočného geometrického prvku možno použiť viacero možností vyhodnotenia, pričom väčšinou každá z nich vedie k rozličnému výsledku (v závislosti od vyhodnocovanej geometrickej tolerancie).

8.3.1 Metódy vyhodnotenia kružnice (valca)

Na vyhodnotenie nameranej kružnice je možné aplikovať rôzne metódy (Obr. 8.19):

- *minimálna opísaná kružnica (MCCI)* – referenčná kružnica je najmenšia možná kružnica opísaná okolo zosnímaného profilu, ktorá sa používa na hodnotenie vonkajších povrchov,
- *maximálna vpísaná kružnica (MICI)* – referenčná kružnica je najväčšia možná kružnica vpísaná do zosnímaného profilu, ktorá sa používa na hodnotenie vnútorných povrchov.
- *Gaussova kompenzačná kružnica (stredná kružnica, LSCI)* – referenčná kružnica je preložená cez zosnímaný profil metódou najmenších štvorcov. Táto metóda je nepatrne ovplyvnená vybočením profilu.
- *referenčné kružnice minimálnej zóny (MZCI)* – referenčná zóna je tvorená dvoma sústrednými kružnicami, ktoré zachytávajú zosnímaný profil v čo najmenšom rozdieli svojich polomerov.



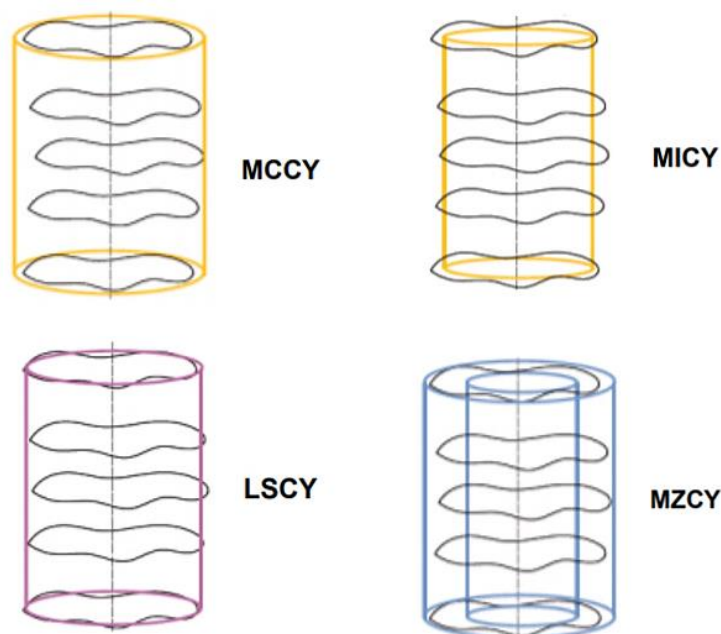
Obr. 8.19. Metódy vyhodnotenia kružnice (Drbúl et al., 2014)

Platí pravidlo, že ak je dĺžka diery alebo hriadeľa menšia ako ich priemer, ide o meranie kružnice a nie valca. V prípade, že je dĺžka väčšia ako priemer, je nutné prispôbiť počet rezov na konkrétnu dĺžku.

Veľký vplyv na výslednú presnosť merania rotačných prvkov má aj uhlový segment, ktorý je dostupný na vyhodnotenie. To znamená, že ideálny prípad je meranie diery alebo valca na 360° . Ak však takéto meranie nie je možné uskutočniť, je potrebné si uvedomiť, koľkonásobné chyby sú vnášané do výsledku. Preto je nutné vždy voliť najväčší možný uhlový segment, ktorý bude vyhodnocovaný.

Napríklad bolo experimentálne dokázané, že algoritmus na výpočet priemeru kružnice meranej na uhlovom výseku 20° môže vnieť do výsledku až 25 násobnú chybu. Pri 180° to môže byť 1,3 násobok a pri 90° až 2,8-násobok odchýlky (Roithmeier, 2007).

Metódy vyhodnotenia valcov sú obdobné ako metódy vyhodnotenia kružníc s rozdielom, že sa označujú MCCY, MICY, LSCY, MZCY a sú implementované na 3D element (Obr. 8.20).



Obr. 8.20. Metódy vyhodnotenia valca (Drbúl et al., 2014)

Na základe Obr. 8.19 a 8.20 možno dedukovať, že každá z týchto metód bude výrazným spôsobom ovplyvňovať algoritmus výpočtu výslednej geometrickej tolerancie, a teda nie sú voľne zameniteľné. Pri aplikácii rôznych metód rôznymi operátormi pri meraní tej istej súčiastky často dochádza k záveru, že jeden operátor vyhodnotí súčiastku ako OK a druhý ako NOK. Preto je nutné, aby už konštruktéri mali túto vedomosť a vedeli potom ovplyvniť aplikovanú metódu vyhodnotenia operátorom.

8.3.2 Metódy vyhodnotenia priamky

Element priamky sa najčastejšie využíva na vyhodnotenie tolerancie priamosti. Dá sa tak isto ako ostatné geometrické elementy vyhodnotiť viacerými metódami:

- *LSS* – metóda vyhodnocovania nazývaná tiež Gaussova metóda alebo metóda strednej čiary. Prvok ideálneho tvaru, v tomto prípade priamka, sa preloží snímanými bodmi profilu tak, aby súčet kvadrátov vzdialeností bodov od strednej priamky bol minimálny.
- *MZS* – nazýva sa tiež Čebyševova metóda alebo metóda obalová. Podstatou je vytvorenie dvoch rovnobežných priamok, ktoré budú tvoriť obálku profilu. Podmienkou vyhodnotenia odchýlky priamosti je vytvorenie minimálnej možnej zóny z dvoch rovnobežiek, ktorá bude obsahovať všetky body profilu.

8.3.3 Metódy vyhodnotenia roviny

Rovina sa dá podobne ako priamky vyhodnotiť rôznymi metódami na tom istom princípe. Najčastejšie sa používajú metódy:

- *LSS (Gaussova metóda)* – na základe skúseností a experimentov bolo určené, že je vhodná na vyhodnocovanie rozmerov,

- *MZS (Čebyševova metóda alebo metóda minimálnej zóny)* – jej uplatnenie je najmä pri vyhodnocovaní tolerancií tvaru.

Tieto možnosti nastavenia sú však len jedna z príčin vzniku nezrovnalostí medzi výsledkami merania rôznymi operátormi. Ďalšou dôležitou príčinou je nastavenie filtrácie a eliminácie odľahlých hodnôt v softvéri.

8.4 Filtrácia a eliminácia odľahlých hodnôt

Súčasťou možností na programovanie plánu merania v softvéri je aj eliminácia odľahlých hodnôt a viacero možností filtrácie nameraných hodnôt. Veľmi dôležité je pochopenie procesu filtrácie, aby nedochádzalo k významnému ovplyvneniu výsledkov tým, že budú odfiltrované hodnoty, ktoré majú byť súčasťou výslednej hodnoty geometrickej tolerancie alebo rozmeru. Vtedy by sa ľahko mohlo stať, že napr. plocha, ktorej odchýlka tvaru je mimo toleranciu, bude po odfiltrovaní dôležitých hodnôt uznaná ako vyhovujúca a opačne.

8.4.1 Filtrácia

Filtrovanie nameraných hodnôt umožňuje získať a oddeliť tvar profilu tak, že správnym nastavením filtrov sa z neho odfiltrujú vlny s krátkou vlnovou dĺžkou a teda drsnosť, prípadne vlnitosť.

Samotný snímač, ktorým sa meranie vykonáva, možno považovať za tzv. mechanický filter, pretože vhodnou voľbou priemeru snímača je možné odfiltrovať drsnosť povrchu tým, že snímač bude dostatočne veľký na to, aby nezachádzal do priehlbín povrchu a teda drsnosť povrchu neovplyvní výsledok tolerancie tvaru. Vtedy bude výsledok jasnou reprezentáciou tvaru daného geometrického prvku.

Ďalej v softvéri na programovanie a meranie geometrických tolerancií rozoznávame tzv. elektrické filtre a to:

- *Gaussov filter* – definuje ho norma STN EN ISO 16610. Je to najčastejšie používaný filter a bol komisiou na schvaľovanie ISO noriem zavedený ako štandard na filtrovanie 2D profilov. Patrí medzi vyhladzovacie lineárne filtre.
- *Spline filter* – tak isto je zadefinovaný normou STN EN ISO 16610. Ide o najnovšiu metódu filtrovania nameraných dát a nachádza uplatnenie najmä pri meraní väčších dielov.
 - spline filter, na rozdiel od Gaussovho filtra, nie je ovplyvnený odľahlými hodnotami a jeho kalkulácia je rýchlejšia.
- *2RC filter* – filter, ktorý nie je definovaný normou, no je možné ho zvoliť pri filtrovaní dát v softvéri. Je to najstaršia metóda filtrovania dát a bol prebraný z filtrovania zvukových vln. Jeho aplikácia sa však v súčasnosti pri meraní na súradnicových meracích strojoch neodporúča.

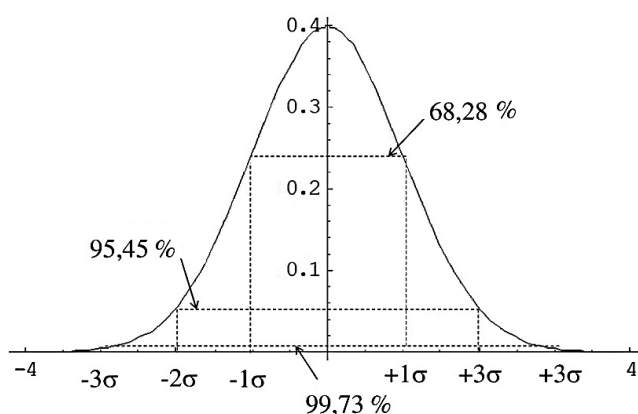
Ďalšie možnosti filtrácie v softvéroch sú 3 typy filtrov podľa toho, ktoré harmonické zložky sa majú odfiltrovať:

- *Low-pass filter* – pri tomto type filtrovania sa odfiltrujú harmonické zložky s vysokými frekvenciami. Preto možno povedať, že tento typ zväčša filtruje z nameraných dát drsnosť a zachováva vlnitosť povrchu.
- *High-pass filter* – je opozitom predchádzajúceho typu filtrovania, dlhé vlny, predstavujúce vlnitosť povrchu sú odfiltrované a krátke vlny, ktoré reprezentujú drsnosť povrchu meranej súčiastky, zostávajú bez zmeny.
- *Band-pass filter* – je kombináciou predchádzajúcich dvoch filtrov – filtruje harmonické zložky v určitom rozsahu – filtruje aj vlnitosť aj drsnosť povrchu (Nenáhlo, 2005).

S nastavením všetkých filtrov treba narábať maximálne opatrne, čo sa preukázalo aj pri experimentálnych úlohách na súradnicovom meracom stroji.

8.4.2 Eliminácia odľahlých hodnôt

Pri eliminácii odľahlých hodnôt sa vychádza zo štandardizovaného normálneho rozdelenia (Obr. 8.21). Umožňuje to odstránenie dát, ktoré sa nachádzajú mimo štatistické limity pre konkrétny vyhodnocovaný súbor dát. Všeobecne pri správnom nastavení eliminácie odľahlých hodnôt by malo dôjsť k odstráneniu tých hodnôt, ktoré môžu byť ovplyvnené napr. nečistotami alebo malými povrchovými chybami, ktoré výrazným spôsobom neovplyvňujú funkčnosť súčiastky.



Obr. 8.21. Štandardizované normálne rozdelenie

Pri použití eliminácie odľahlých hodnôt v rozsahu $\pm 3\sigma$ budú vo vyhodnotení merania použité tie hodnoty, ktoré spadajú do 99,73 % rozsahu nameranej hodnoty. Takáto eliminácia odľahlých hodnôt nemá zásadný vplyv na výsledok vyhodnotenia meranej odchýlky. Avšak pri nevedomosti správnej aplikácie odľahlých hodnôt môže dôjsť k odstráneniu až 31,72 % hodnôt, čo už je zaručene vylúčenie nameraných hodnôt, ktoré sú dôležité z pohľadu správneho definovania geometrického prvku.

Vplyv filtrácie a eliminácie nameraných hodnôt na výslednú hodnotu kruhovitosti meranej na súradnicovom meracom stroji, použitím rôznych kombinácií filtrov a eliminácií je uvedený v Tab. 8.2. Na meranie bola použitá metóda MZCI (referenčné kružnice minimálnej zóny).

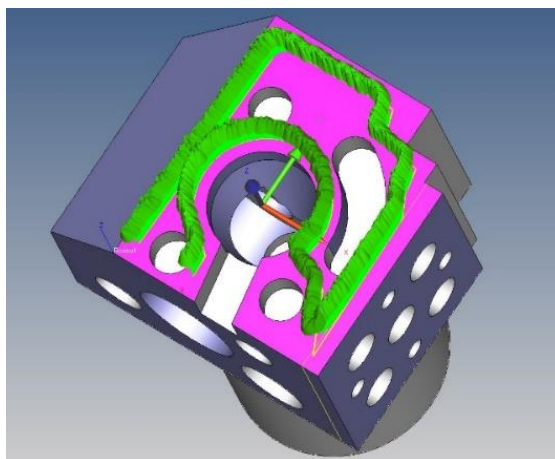
Tabuľka 8.2. Vplyv kombinácie filtrácie a eliminácie odľahlých hodnôt na hodnotu kruhovitosti

Filtrácia	-	✓	-	✓
Eliminácia odľahlých hodnôt	-	-	✓	✓
Kruhovitost'	0,060	0,034	0,056	0,028

Na základe tohto príkladu bolo názorne vysvetlené a preukázané, že pri zachovaní všetkých podmienok konštantných a nezmenených (rýchlosť skenovania, dĺžka kroku, priemer snímača, metóda vyhodnotenia, rez) len pri zmene nastavenia filtrácie a odľahlých hodnôt vie metroológ (programátor) výrazným spôsobom ovplyvniť výsledok merania na úrovni stotín milimetra. Medzi nefiltrovaným výsledkom a výsledkom, na ktorý sa použil filter a eliminácia odľahlých hodnôt na úrovni $\pm 3\sigma$ je rozdiel viac ako 0,03 mm.

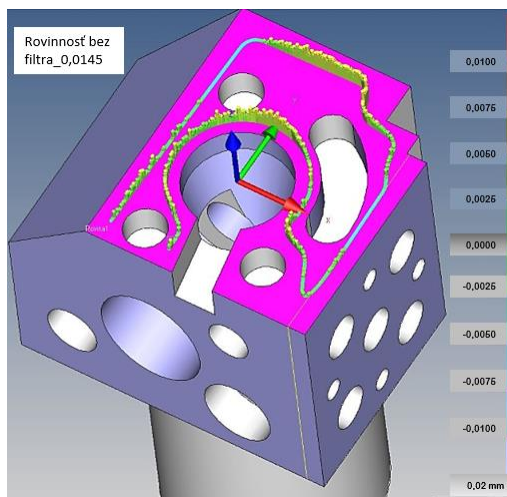
8.4.3 Vplyv filtrácie a eliminácie odľahlých hodnôt na výsledok

V prípade merania a vyhodnocovania rôznych elementov na súčasti môže dôjsť k výraznému ovplyvneniu výsledku nastavením spomínaných parametrov. Na aplikáciu filtrov a elimináciu odľahlých bodov je potrebný dostatočný počet bodov. Preto je nutné, aby meraný element bol snímaný kontinuálne po zvolenej stratégii (Obr. 8.22).

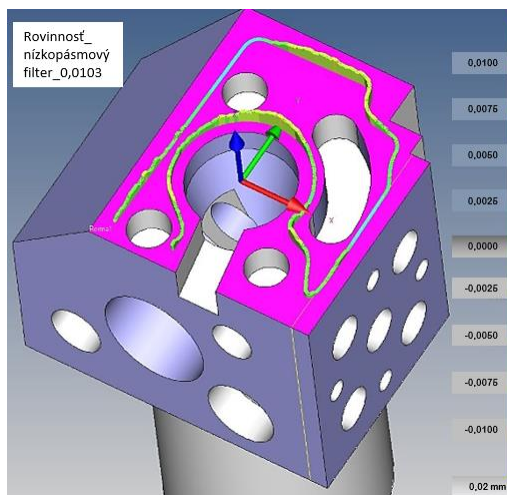


Obr. 8.22. Vektory snímaných bodov tvoriacich stratégiu merania roviny

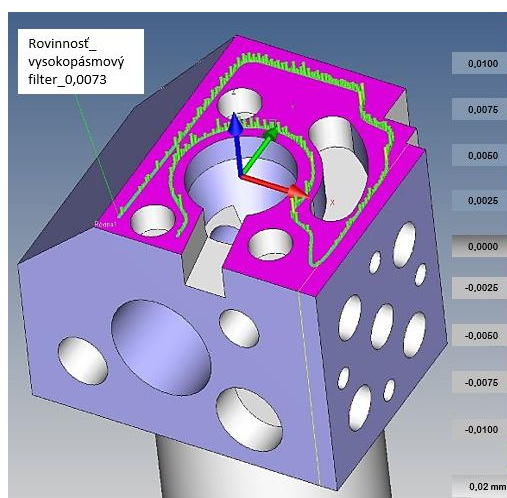
Potom daný element možno použiť na vyhodnotenie napr. geometrickej tolerancie rovinnosti. V prípade ak nie je aplikovaná filtrácia je hodnota rovinnosti 0,014 5 mm (Obr. 8.23). Po aplikácii nízkopásmového filtra (Low – pass filter) je hodnota prepočítaná na 0,010 3 mm (Obr. 8.24) a po použití vysokopásmového filtra (High – pass filter) je rovinnosť 0,007 3 mm (Obr. 8.25).



Obr. 8.23. Hodnotenie rovinnosti bez použitia filtrácie



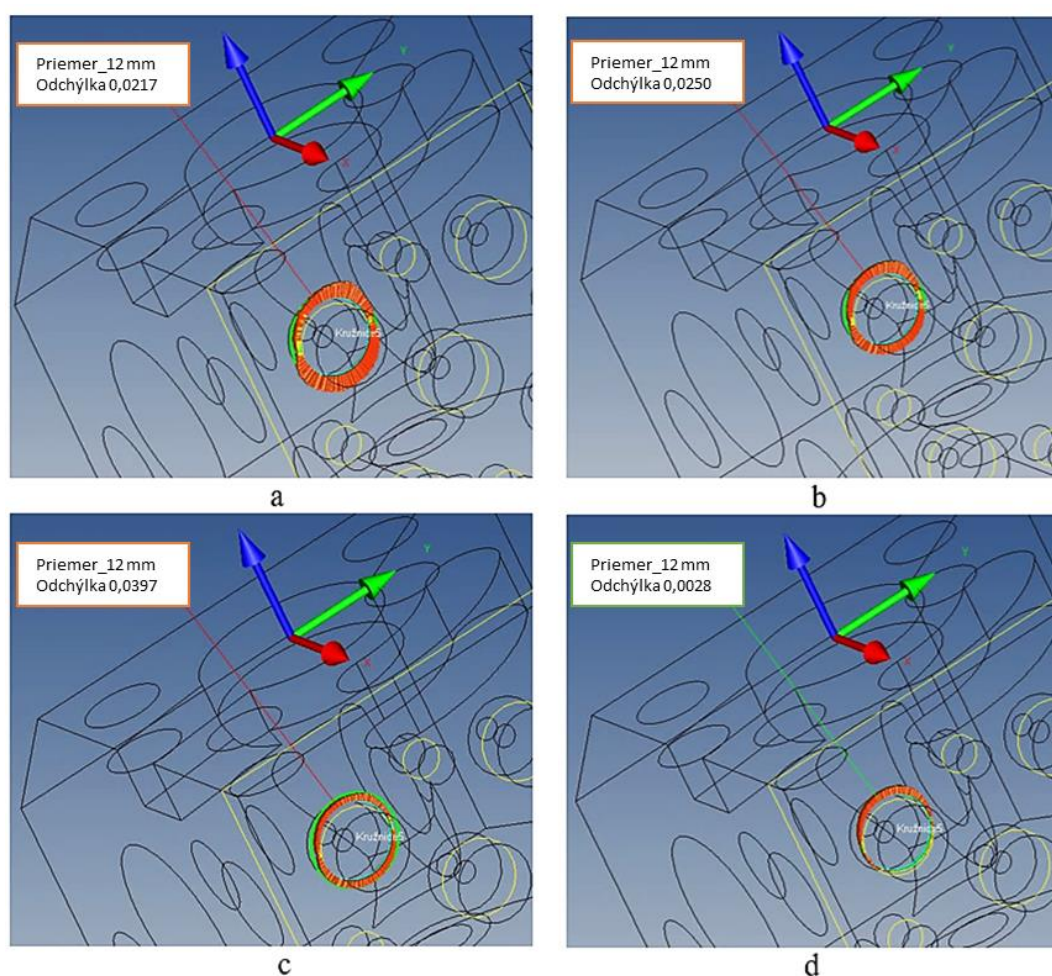
Obr. 8.24. Hodnotenie rovinnosti s použitím nízkopásmového filtra



Obr. 8.25. Hodnotenie rovinnosti s použitím vysokopásmového filtra

Vo všetkých troch prípadoch bola uvedená rovnaká metóda merania a všetky podmienky merania boli nezmenené. Rozdiel vo vyhodnotených hodnotách rovinnosti môže viesť ku zámene nezhodného produktu so zhodným dielom a opačne.

Ďalším príkladom vplyvu nastavovania parametrov v softvéri na výsledky merania je hodnotenie priemeru diery rôznymi metódami. V experimente boli použité 4 metódy hodnotenia, a to: referenčné kružnice minimálnej zóny, Gaussova metóda, maximálna vpísaná kružnica a minimálna opísaná kružnica. Výsledky merania priemeru diery sa v závislosti od zvoleného filtra menili na úrovni stotín milimetra. Pri zvolení referenčných kružníc minimálnej zóny bola hodnota priemeru diery 12,021 7 mm (Obr. 8.26a), pri Gaussovej metóde bola hodnota priemeru 12,025 0 mm (Obr. 8.26b), pri maximálnej vpísanej kružnici bola hodnota priemeru 12,039 7 mm (Obr. 8.26c) a pri minimálnej opísanej kružnici bola hodnota priemeru diery 12,002 8 mm (Obr. 8.26d).

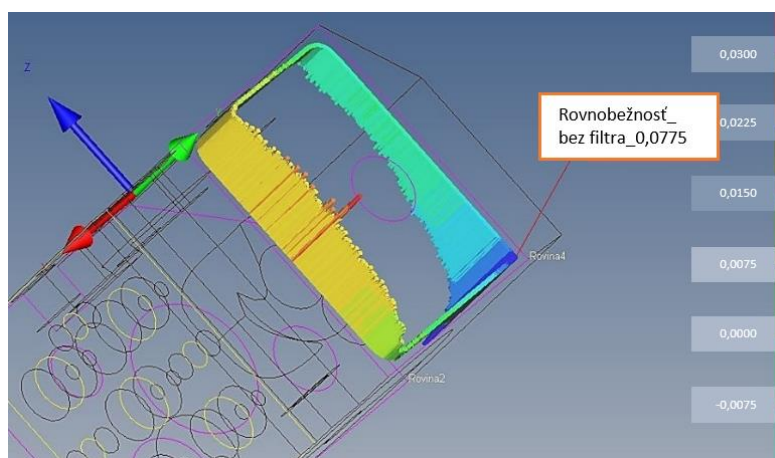


Obr. 8.26. Metódy hodnotenia priemeru diery (kružnice)

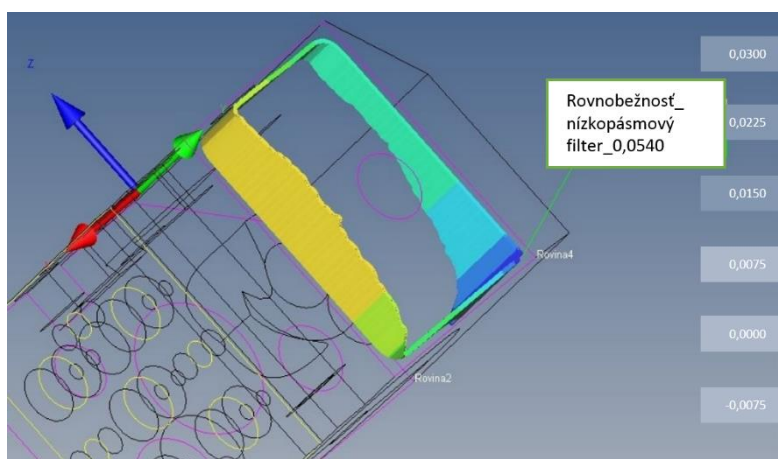
a – referenčné kružnice minimálnej zóny, b – Gaussova metóda, c – maximálna vpísaná kružnica, d – minimálna opísaná kružnica

Rovnako možno pozorovať význam vplyvu filtrácie na elimináciu odľahlých hodnôt pri hodnotení geometrických tolerancií polohy a orientácie, ako je to napr. v prípade hodnotenia rovnobežnosti. Pri zmene filtrov dochádza k dosiahnutiu rôznych výsledkov tolerancie. Pri hodnotení rovnobežnosti dvoch rovín bez použitia filtrov (Obr. 8.27) je hodnota

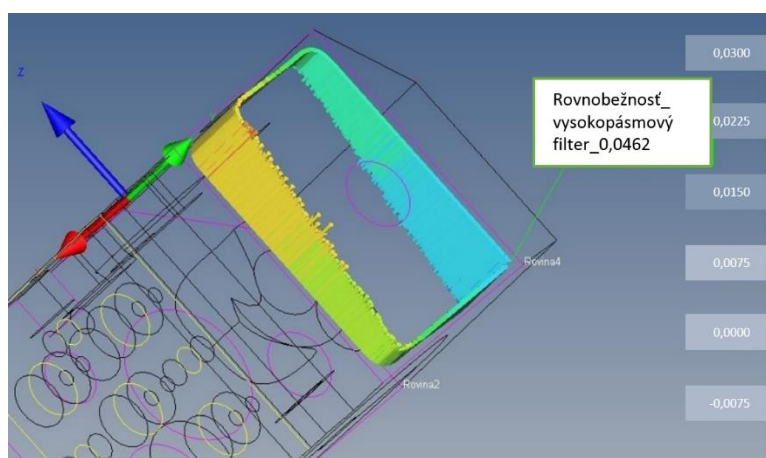
rovnobežnosti 0,077 5 mm, pri aplikácii nízkopásmového filtra (Obr. 8.28) je hodnota rovnobežnosti prepočítaná na 0,054 0 mm a pri použití vysokopásmového filtra (Obr. 8.29) je hodnota rovnobežnosti 0,046 2 mm.



Obr. 8.27. Hodnotenie rovnobežnosti bez použitia filtrácie



Obr. 8.28. Hodnotenie rovnobežnosti s použitím nízkopásmového filtra



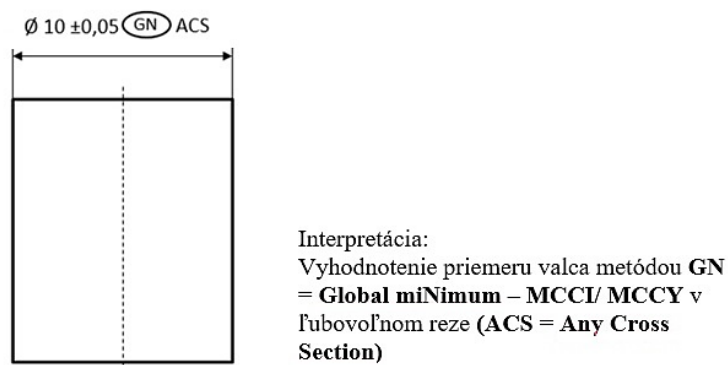
Obr. 8.29. Hodnotenie rovnobežnosti s použitím vysokopásmového filtra

Všetky uvedené hodnotenia rovnobežnosti boli realizované bez zmeny ostatných podmienok hodnotenia. Rovnako nebolo menené hodnotenie referenčného elementu. Vo všetkých prípadoch bol aplikovaný filter Spline. Rozdiely možno pozorovať nielen na číselných výsledkoch, ale aj na grafických priebehoch rovnobežnosti.

8.5 Odporúčania

V súčasnosti viaceré firmy začínajú aplikovať do výkresovej dokumentácie značky, skratky, označenia, ktoré bližšie špecifikujú spôsob merania, vyhodnotenia, určujú konkrétne miesto rezu, čo by mohlo viesť ku predídaniu problémov s rozličnými výsledkami získanými dvoma operátormi – metrológmi.

Typickým príkladom je problém merania a vyhodnotenia priemeru valca, ktorý môže byť meraný a vyhodnocovaný v rôznych rezoch a rôznou metódou vyhodnotenia, čo môže spôsobiť rozdielne výsledky. Preto možno použiť značky, ktoré určia konkrétne rezy a špecifikujú presnú metódu vyhodnotenia (Obr. 8.30).



Obr. 8.30. Kótovanie pomocou prídavných značiek na vyhodnotenie priemeru – ACS

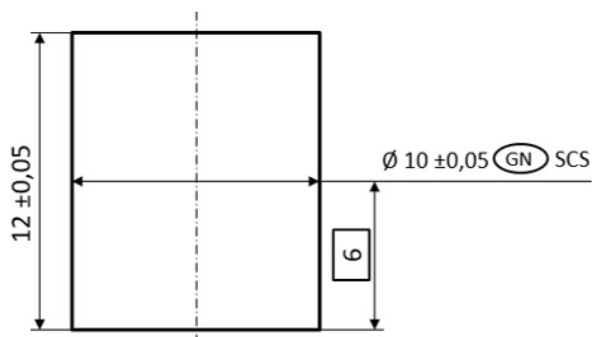
Na definovanie metódy vyhodnotenia môžu byť použité označenia:

- *GX (Global maXimum)* – vyhodnotenie metódou MICI/MICY maximálnej vpísanej kružnice,
- *GN (Global miNimum)* – vyhodnotenie metódou MCCI/MCCY minimálnej opísanej kružnice,
- *GC (Global Chebyshev)* – vyhodnotenie metódou MZCI/MZCY minimálnej zóny,
- *GG (Global Gauss)* – vyhodnotenie metódou LSCI/LSCY najmenších štvorcov.

Špecifikácia miesta merania – rezu sa tiež môže upresniť značkami:

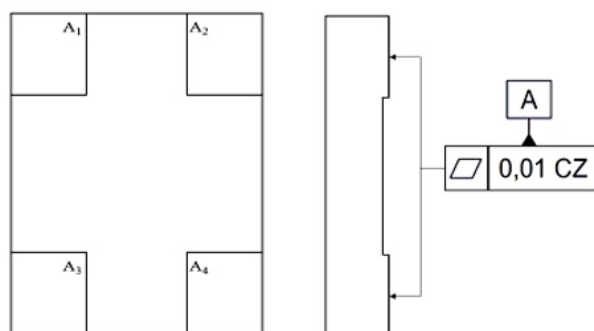
- *ACS (Any Cross Section)* – meranie v hociktorom možnom reze,
- *SCS (Specific Cross Section)* – meranie v špecifickom reze, ktoré musí byť bližšie zadefinované, napr. prídavnou teoretickou kótou (Obr. 8.31),
- *ALS (Any Longitudinal Section)* – meranie v hociktorom možnom pozdĺžnom reze,

- *CZ (Common Zone)* – meranie týkajúce sa spoločnej tolerančnej zóny – základne (Obr. 8.32),
- *TED (Theoretically Exact Dimension)* – teoreticky presný rozmer – udáva sa bez tolerancie a označuje ideálny rozmer. Býva prídavnou kótou ku ďalším vyhodnoteniam.



Interpretácia:
Vyhodnotenie priemeru valca metódou
GN = Global miNimum – MCCI/
MCCY v konkrétnom reze (**SCS =**
Specific Cross Section) vo vzdialenosti
od čela o teoreticky presný rozmer.

Obr. 8.31. Kótovanie pomocou prídavných značiek na vyhodnotenie priemeru – SCS



Interpretácia:
Základňa A je zložená zo štyroch
čiastkových základní.
Tolerancia rovinnosti je aplikovaná
s označením **CZ (Common Zone)**
a teda má byť z čiastkových základní A1
– A4 vytvorená 1 spoločná základňa a jej
rovnosť má byť potom vyhodnotená.

Obr. 8.32. Označenie na výkrese CZ

Tieto a rôzne ďalšie označenia nachádzajú uplatnenie v zjednotení výkresovej dokumentácie medzi konštruktérom a metrológom.

Záver

Meranie strojárskych súčiastok je neoddeliteľnou súčasťou výrobného procesu. Aby bola zabezpečená presnosť merania a aby nedochádzalo k nezrovnalostiam vo vyhodnutí a kontrole súčiastok je nutné, aby bola výkresová dokumentácia vytváraná konštruktérmi jednoznačná a rôznymi metrológmi chápaná rovnako. To možno dosiahnuť:

- intenzívnou komunikáciou medzi konštruktérom a metrológom – programátorom plánu merania súčiastky,
- správnym označením základní z hľadiska ich funkčnosti, čo vedie k eliminácii možných problémov pri vytváraní plánu merania – z hľadiska metrologického sú základne považované za prvky, ktoré tvoria základný súradnicový systém a teda v procese kontaktného merania musia byť voľne prístupné z čo najväčšej časti (pokiaľ nie je so zákazníkom – objednávateľom merania dohodnuté inak),

- voľbou vhodnej metódy vyhodnotenia vzhľadom na funkčnosť meraných plôch, napr. vzhľadom na to, či ide o uloženie jednotnej diery alebo jednotného hriadeľa, či ide o rozmerové charakteristiky alebo tolerancie tvaru, polohy, orientácie alebo hádzania. Nie v každom prípade sa dá použiť každá metóda, inak môže dôjsť ku nesprávnemu vyhodnoteniu tolerancie.
- použitím rôznych filtrácií a eliminácií odľahlých hodnôt, s ktorými je však potrebné pracovať nanajvýš opatrne.

Zoznam bibliografických odkazov

ČILLÍK, L. et al., 2012. *Konštruovanie I* [online]. [cit. 2020-07-23]. Dostupné na internete: < <http://www.konstruovanie1.uniza.sk/> >

LACKO, F., ORAVCOVÁ, J., RIEČIČIAROVÁ, E. 2010. *Základy konštruovania a technická dokumentácia*. Trnava, AlumniPress. p. 84 - 86. ISBN 978-80-8096-134-3.

GÖRÖG, A., SAMARDŽIOVÁ, M.. 2016. *Metrológia a kvalita technologických procesov*. Trnava, AlumniPress. p. 45 - 86. ISBN 978-80-8096-225-8.

DRBÚL, M. et al., 2014. *Strojárska metrológia a kvalita povrchov vytvorených technológiami obrábania*. Žilina, ŽU v Žiline. p. 34 - 37. [cit. 2020-09-09]. Dostupné na internete: <<http://projekty.fs.vsb.cz/064/docs/metrologie.pdf>>

WACZULÍKOVÁ, I., SLEZÁK, P. 2011. *Štatistické testovanie hypotéz. Porovnanie dvoch výberov*. Univerzita Komenského. [cit. 2020-09-11]. Dostupné na internete: <<https://slideplayer.com/slide/14454585/>>

NENÁHLO, Č., 2005. *Měření vybraných geometrických veličin*. Praha, Česká metrologická společnost, 207 s.

STN EN ISO 1101 (01 4401): 2006, Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Geometrické tolerovanie. Tolerancie tvaru, orientácie, polohy a hádzania.

ROITHMEIER, R. 2007. *Measurement strategies in Contact Coordinate Metrology*. Ellwangen, Opferkuch GmbH. ISBN 978-3-9811422-2-8.

STN EN ISO 16610: 2011, Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Filtrácia. Časť 21: Lineárne profilové filtre: Gaussove filtre.