

Technická dokumentácia

Prednáška VI. Geometrické tolerovanie

Ing. Jozef Maščenik, PhD.

Dosiahnutie požadovanej životnosti, správnej a spoľahlivej funkcie ako aj splnenie požiadavky na vymeniteľnosť strojárskych výrobkov, vyžaduje dodržať nielen presné rozmery funkčných plôch ale aj správnosť geometrického tvaru, smeru, vzájomnej polohy plôch a iných prvkov súčiastok.

Základné pravidlá a princípy geometrického tolerovania sú definované v normách:

- ISO 1101-1: 2004 (STN EN ISO 1101-1: 2006) „*Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Geometrické tolerovanie. Tolerancie tvaru, smeru, polohy a hádzania*“.
- ISO 2692: 2007 (STN EN ISO 2692: 2007) „*Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Geometrické tolerovanie. Požiadavka maxima (MMR) a minima materiálu (LMR) a recipročné požiadavky (RPR)*“.
- ISO 5459: 1981 (STN ISO 5459: 1995) „*Technické výkresy. Geometrické tolerovanie. Základne a sústavy základní pre geometrické tolerancie*“.
- ISO 7083: 1983 (STN EN ISO 7083: 1997) „*Technické výkresy. Značky pre geometrické tolerovanie. Tvary a rozmery*“.
- ISO 14660-1: 1999 (STN EN ISO 14660-1: 2002) „*Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Geometrické prvky. Časť 1: Všeobecné termíny a definície*“.
- ISO 14660-2: 1999 (STN EN ISO 14660-2: 2002) „*Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Geometrické prvky. Časť 1: Extrahovaná stredná čiara valca a kužeľa, extrahovaný stredný povrch, miestny rozmer extrahovaného prvku*“.

7.1 ZÁKLADNÉ POJMY A DEFINÍCIE

Tolerovanie tvaru, smeru, polohy a hádzania spoločne nazývame *geometrické tolerovanie*. Základnými pojmami geometrického tolerovania sú pojmy: **prvok**, **odchýlka**, **tolerancia**.

- **Prvok** (geometrický prvok) – bod, čiara alebo povrch.
- **Integrálny** (geometrický) **prvok** – povrch alebo čiara na povrchu.
- **Odvođený** (geometrický) **prvok** – stred, stredná čiara alebo stredný povrch, odvodené z jedného alebo viacerých integrálnych povrchov.
- **Rozmerový prvok** – geometrický tvar definovaný dĺžkovým alebo uhlovým rozmerom.
- **Nominálny integrálny prvok** – teoreticky presný (menovitý) integrálny prvok, taký, ako ho definuje technický výkres.
- **Nominálny odvođený prvok** – stred, os alebo stredná rovina, odvodené z jedného alebo viacerých nominálnych (menovitých) integrálnych povrchov.
- **Skutočný povrch obrobku** – súbor prvkov, ktoré fyzicky existujú a oddeľujú obrobok od okolitého prostredia.
- **Skutočný integrálny** (geometrický) **prvok** – integrálna časť prvku skutočného povrchu obrobku.
- **Extrahovaný integrálny prvok** – aproximované znázornenie skutočného prvku, získané extrahovaním konečného počtu bodov skutočného prvku. Extrakcia sa robí dohodnutým spôsobom.
- **Extrahovaný odvođený prvok** – stred, stredná čiara alebo stredný povrch, odvodený od jedného alebo viacerých extrahovaných integrálnych prvkov.

- **Pridružený integrálny prvok** – integrálny prvok s dokonalým tvarom pridružený dohodnutým spôsobom k extrahovanému integrálnemu prvku.
- **Pridružený odvodený prvok** – stred, os alebo stredná rovina, odvodené od jedného alebo viacerých pridružených integrálnych povrchov
- **Odchýlka** – tento pojem sa používa k všeobecnému popisu geometrie skutočných plôch a profilov a k jednotnému vyhodnocovaniu výsledkov merania skutočných plôch, profilov a iných prvkov.
- **Tolerancia** – je definovaná obecné ako najväčšia dovolená číselná hodnota uvažovaných odchýlok, ktoré určujú charakteristický rozmer rovinných alebo priestorových tolerančných zón.
- **Tolerančná oblasť** - geometrická tolerancia aplikovaná na prvok definuje tolerančnú oblasť, v ktorej musia ležať všetky body posudzovaného prvku. Podľa toho, o aký prvok sa jedná a podľa spôsobu jeho kótovania, môže byť tolerančná oblasť ohraničená:
 - dvoma ekvidištančnými čiarami,
 - valcom,
 - dvoma sústrednými kružnicami,
 - dvoma súosovými valcami,
 - dvoma rovnobežnými rovinami,
 - guľovým priestorom.

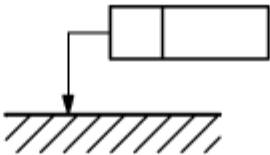
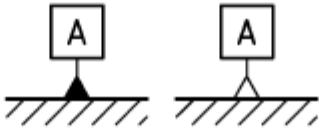
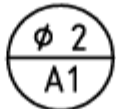






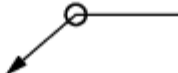


Aby bol predpis každej geometrickej tolerancie jednoznačný, musí byť jednoznačná definícia tolerančnej oblasti. Na definícii tolerančnej oblasti závisí vo všeobecnosti aj spôsob kontroly tolerovaného prvku.

ROZDELENIE GEOMETRICKÉHO TOLEROVANIA

Tabuľka 7.1a Rozdelenie geometrického tolerovania podľa ISO 1101

Tolerancie	Charakteristiky	Značka	Požiadavka základne
Tvaru	Priamosť	—	nie
	Rovinnosť	▭	nie
	Kruhovitosť	○	nie
	Valcovitosť	⊘	nie
	Profil ľubovoľnej čiary	∩	nie
	Profil ľubovoľného povrchu	∪	nie
Orientácie	Rovnobežnosť	//	áno
	Kolmosť	⊥	áno
	Sklon	∠	áno
	Profil ľubovoľnej čiary	∩	áno
	Profil ľubovoľného povrchu	∪	áno
Poloha	Umiestnenie	⊕	áno alebo nie
	Sústrednosť (pre stredy)	⊙	áno
	Súosovosť (pre osi)	⊙	áno
	Súmernosť	≡	áno
	Profil ľubovoľnej čiary	∩	áno
	Profil ľubovoľného povrchu	∪	áno
Hádzania	Kruhové hádzanie	↗	áno
	Celkové hádzanie	↗↗	áno

Tabuľka 7.1b Doplnkové značky geometrického tolerovania

Charakteristiky	Značka	Odkaz
Označenie tolerovaného prvku		ISO 1101
Označenie základného prvku		ISO 5459
Označenie čiastkovej základne		ISO 5459
Teoreticky presný rozmer		ISO 5458
Posunutá tolerančná zóna		ISO 10578
Požiadavka maxima materiálu		ISO 2692
Požiadavka minima materiálu		ISO 2692
Požiadavka reciprocitu		ISO2692
Podmienka voľného stavu (poddajné súčiastky)		ISO 10579
Dookola po obryse (profile)		
Požiadavka obalovej plochy		ISO 8015
Spoločná zóna		

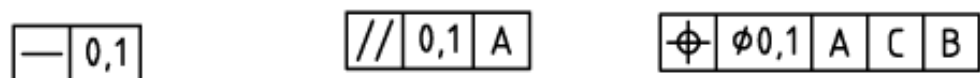
Malý priemer	LD	
Veľký priemer	MD	
Stredný priemer (rozstupový)	PD	
Prvok čiary	LE	
Nekonvexný	NC	
Ľubovoľný prierez	ACS	

7.2 SPÔSOBY PREDPISOVANIA GEOMETRICKÝCH TOLERANCIÍ NA TECHNICKÝCH VÝKRESOCH

7.2.1 TOLERANČNÝ RÁMČEK

Požadované tolerancie sa zapisujú do tolerančných rámečkov rozdelených na dve alebo viac častí, ktoré v poradí zľava doprava obsahujú:

- značku tolerovanej geometrickej charakteristiky,
- číselnú hodnotu tolerancie v mm,
- ak je to potrebné, uvedie sa písmeno, alebo písmená označujúce základný tvarový prvok alebo základňový systém (*obr. 7.1*).



Obrázok 7.1 Základné tvary tolerančných rámečkov



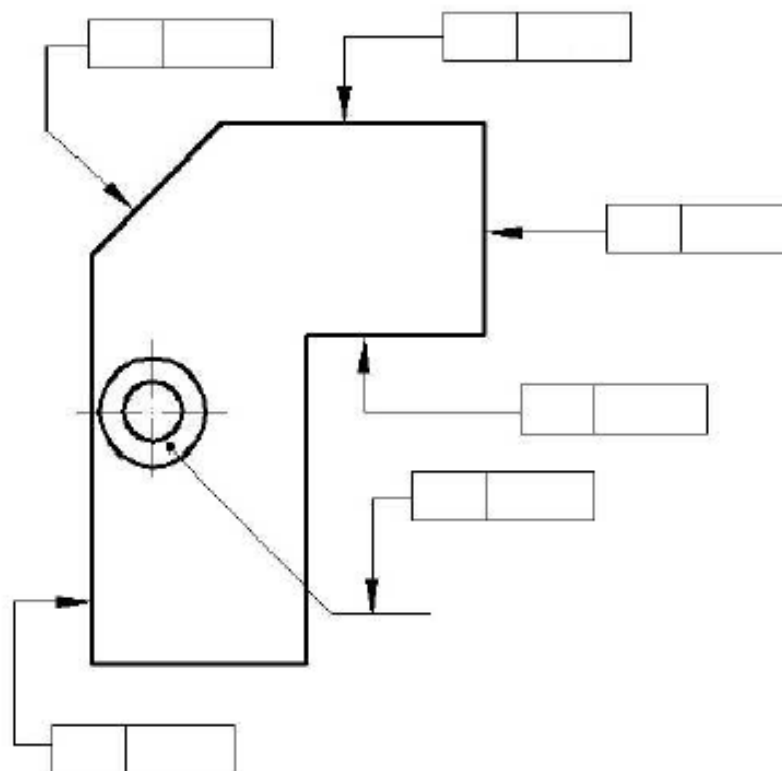
a)

b)

Obrázok 7.2 Označenie špecifických tvarov tolerančných polí

Tabuľka 7.2 Odporúčané rozmery geometrického tolerovania pre písmo typu B

Charakteristika		Odporúčané rozmery			
Výška rámčeka	H	5	7	10	14
Výška písma	h	2,5	3,5	5	7
Priemer značky čiastkovej základne	D	10	14	20	28
Hrúbka čiary	d	0,25	0,35	0,5	0,7



Obrázok 7.3b Umiestnenie tolerančného rámčeka

7.2.2 ZÁKLADNE PRE GEOMETRICKÉ TOLERANCIE

Základne a sústavy základní pre geometrické tolerovanie sa používajú ako základ pre vytvorenie geometrických vzťahov medzi príslušnými prvkami. Kvalita príslušných základných prvkov a náhradných základných prvkov musí odpovedať funkčným požiadavkam. Norma STN ISO 5459 definuje základné pojmy:

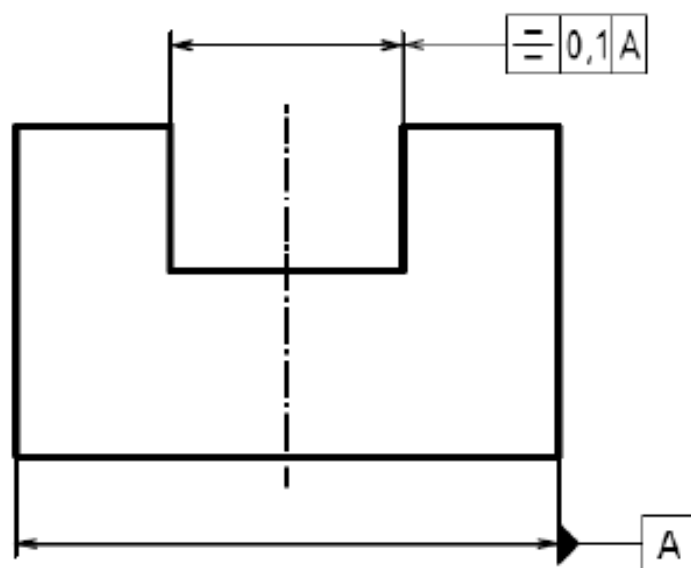
- **Základňa** - teoreticky presný geometrický prvok (napr. os symetrie, rovina, priamka), ku ktorému sa vzťahuje tolerovaný prvok. Základne môžu byť tvorené jedným alebo viacerými základnými prvkami na súčiaske.
- **Sústava základní** – skupina dvoch alebo viacerých základní.
- **Základný prvok** – skutočný prvok na súčiaske (napr. hrana, plocha alebo diera) použitý pre určenie polohy základne.

Základňa môže byť tvorená jedným alebo viacerými prvkami:

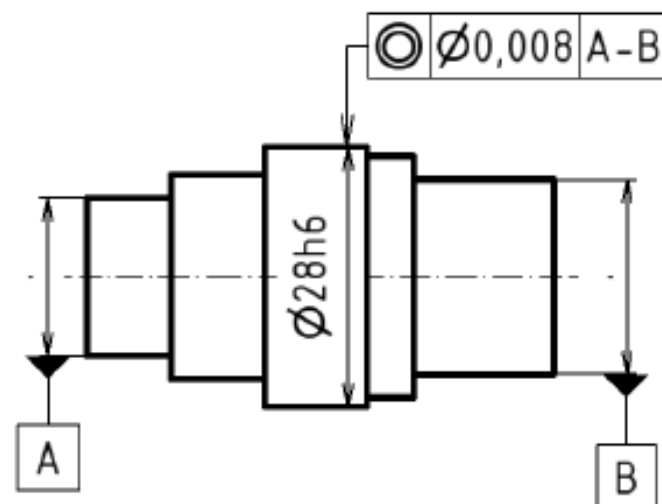
- **Základňa tvorená jedným prvkom.** Ak základňu tvorí len jeden prvok, označí sa jedným písmenom v treťom poli tolerančného rámčeka. Napríklad na *obr. 7.4a* je základňou os symetrie.
- **Spoločná základňa tvorená dvomi prvkami.** Ak spoločnú základňu tvoria dva prvky, označí sa v treťom poli tolerančného rámčeka dvomi písmenami oddelenými pomlčkou.

Na obr. 7.4b je uvedený príklad, kde základňou je spoločná os dvoch valcov, ktorými je hriadeľ uložený v ložiskách.

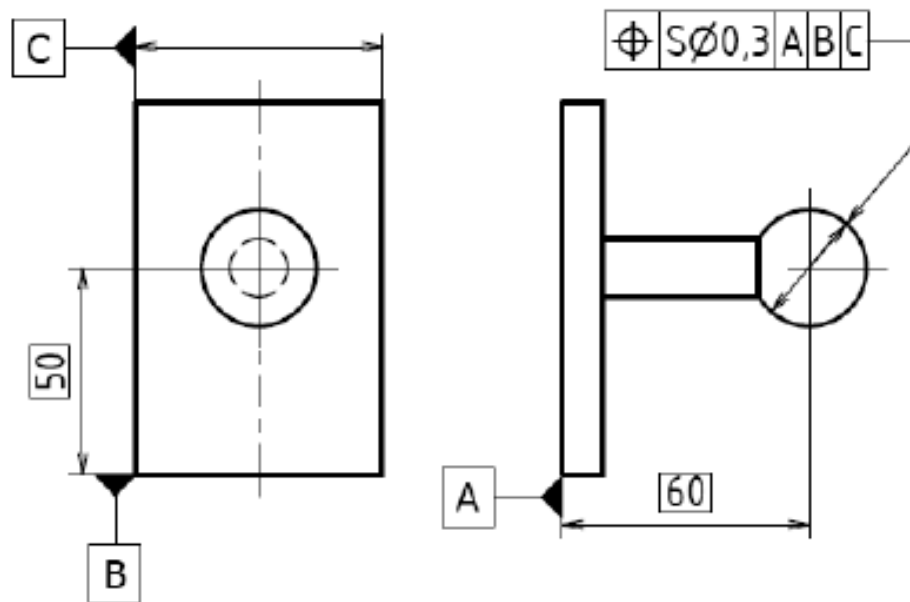
- **Sústava základní tvorená dvomi alebo viacerými prvkami.** Pre tolerancie smeru sa obvykle používajú iba jedna alebo dve základne. Vzťah umiestnenia však často vyžaduje základný systém tvorený troma navzájom kolmými rovinami. V týchto prípadoch je potrebné stanoviť ich poradie a na základe priorít určiť primárnu, sekundárnu a terciálnu základňu. Poradie základní ovplyvňuje získané výsledky. Písmena označujúce základne sa zapisujú do tretieho a nasledujúcich polí tolerančného rámčeka podľa poradia základní (obr. 7.4c – základňami sú dve oporné plochy a os symetrie).



a)



b)

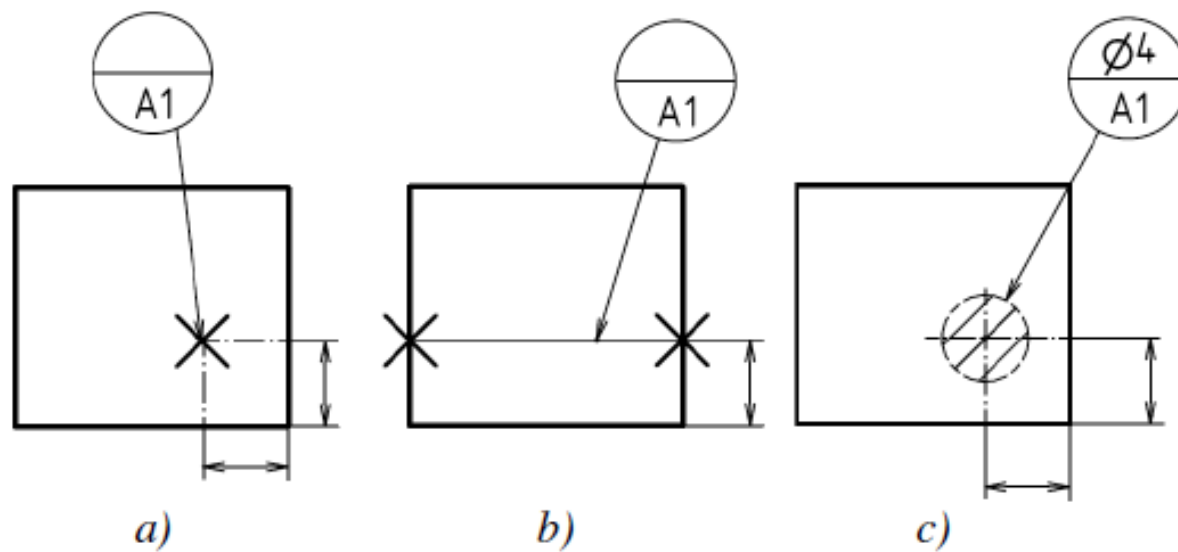


c)

Obrázok 7.4 Označovanie základní

• **Čiastkové základne.** Z určitých výrobných dôvodov je vhodné voliť namiesto celej veľkej plochy – základne, pri ktorej nevieme dosiahnuť požadovanú presnosť, menšie plochy – čiastkové základne. Za čiastkové základne je vhodné voliť hlavne upínacie plochy alebo úložné miesta pri výrobe a meraní. Čiastkovou základňou môže byť:

- bod – označuje sa krížikom (*obr. 7.5 a*),
- úsečka – označuje sa dvomi krížikmi spojenými tenkou súvislou čiarou (*obr. 7.5 b*),
- kruhová alebo štvorcová plocha - sa označuje tenkou bodkočiarkovanou čiarou s dvoma bodkami a šrafovaním (*obr. 7.5 c*).



Obrázok 7.5 Označovanie čiastkových základní

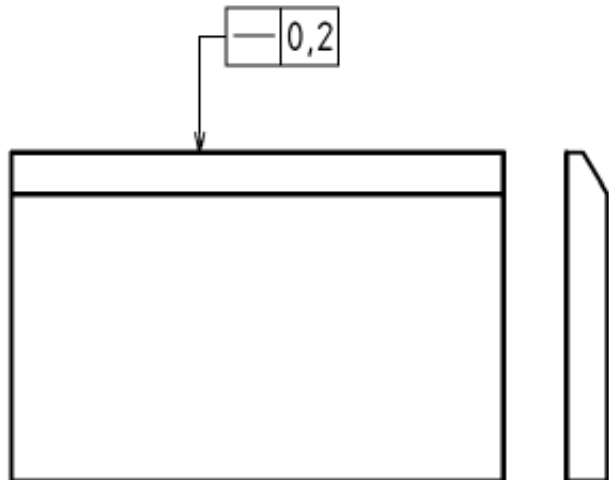
7.3 TOLERANCIE TVARU

Tolerancia tvaru určuje najväčšiu dovolenú hodnotu odchýlky skutočného tvaru obrobku od jeho navrhovaného menovitého tvaru uvedeného na výkrese. Odchýlka tvaru sa kvalitatívne vyhodnocuje ako najväčšia vzdialenosť bodov skutočnej plochy (skutočného profilu) od obalovej plochy (obalového profilu) v smere normály k obalovej ploche (obalovému profilu). Typy tolerancií tvaru sú uvedené v *Tabuľke 7.1a*.

7.3.1 PRIAMOSŤ

Odchýlka priamosti v rovine je najväčšia vzdialenosť Δ bodov od skutočného profilu obalovej priamky v rozsahu vzťažného úseku L . Tolerancia priamosti T vymedzuje oblasť ohraničenú dvomi rovnobežnými priamkami vzdialenými od seba o dĺžku rovnajúcu sa tolerancii priamosti T , medzi ktorými musí tolerovaná priamka ležať. Príklad predpisu tolerancie priamosti v rovine je na *obr. 7.7*. Odchýlkou priamosti v priestore je priemer najmenšieho opísaného valca okolo odvođeného geometrického útvaru (osi).

Definícia: *Tolerovaný geometrický útvar (hrana, os, povrchová čiara) je vymedzený dvomi priamkami alebo rovinami, ktoré sú navzájom vzdialené o T , resp. valcom s priemerom T*

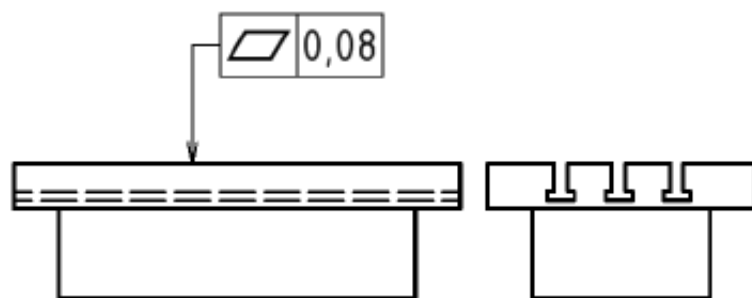


a) predpis na výkrese

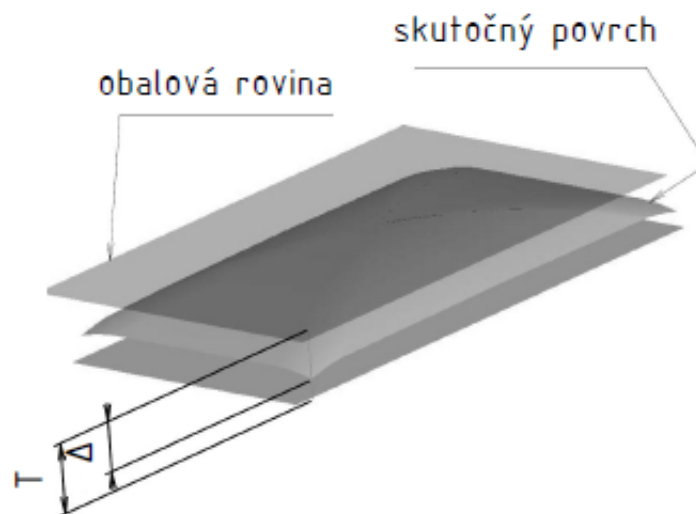


b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.7 Odchýlka tolerancie priamosti v rovine



a) predpis na výkrese



b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.8 Predpis tolerancie rovinnosti

7.3.2 ROVINNOSŤ

Odchýlka rovinnosti je najväčšia vzdialenosť Δ bodov od skutočnej plochy obalovej roviny. Tolerančná zóna rovinnosti je oblasť v priestore ohraničená dvomi rovnobežnými rovinami vzdialenými od seba o dĺžku rovnajúcu sa tolerancii rovinnosti T . Príklad predpisovania tolerancie rovinnosti je na *obrázku 7.8*.

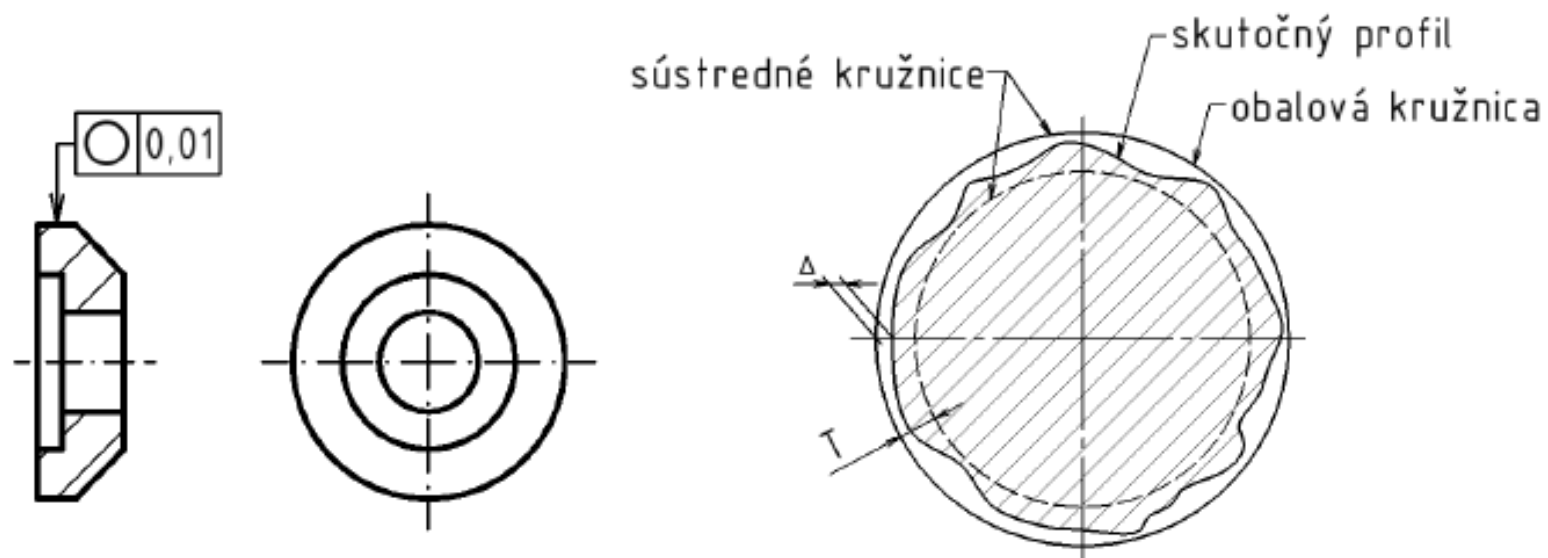
Definícia: *Poloha všetkých bodov povrchu (skutočného povrchu alebo symetrických rovín) je vymedzená dvomi rovnobežnými rovinami, ktoré sú navzájom vzdialené o hodnotu T .*

7.3.3 KRUHOVITOSŤ

Odchýlka kruhovitosti je vzdialenosť Δ bodov skutočného profilu od obalovej kružnice. Tolerančná zóna kruhovitosti je oblasť v rovine kolmej na os rotačnej plochy alebo prechádzajúcej stredom gule, ohraničená dvomi sústrednými kružnicami vzdialenými od seba o šírku medzikružia, ktorá sa rovná tolerancii kruhovitosti T .

Tolerancia kruhovitosti hovorí o tom, že úplný extrahovaný povrch zo skutočného priečného rezu valca alebo kužeľa, bez ohľadu na veľkosť, nesmie prekročiť tolerančnú oblasť. Príklad predpisovania tolerancie kruhovitosti je na *obrázku 7.9*.

Definícia: *Obvodový profil každého priečného rezu sa musí nachádzať medzi dvomi súosovými kružnicami s radiálnou vzdialenosťou T . Priemery kružníc nie sú definované.*



a) predpis na výkrese

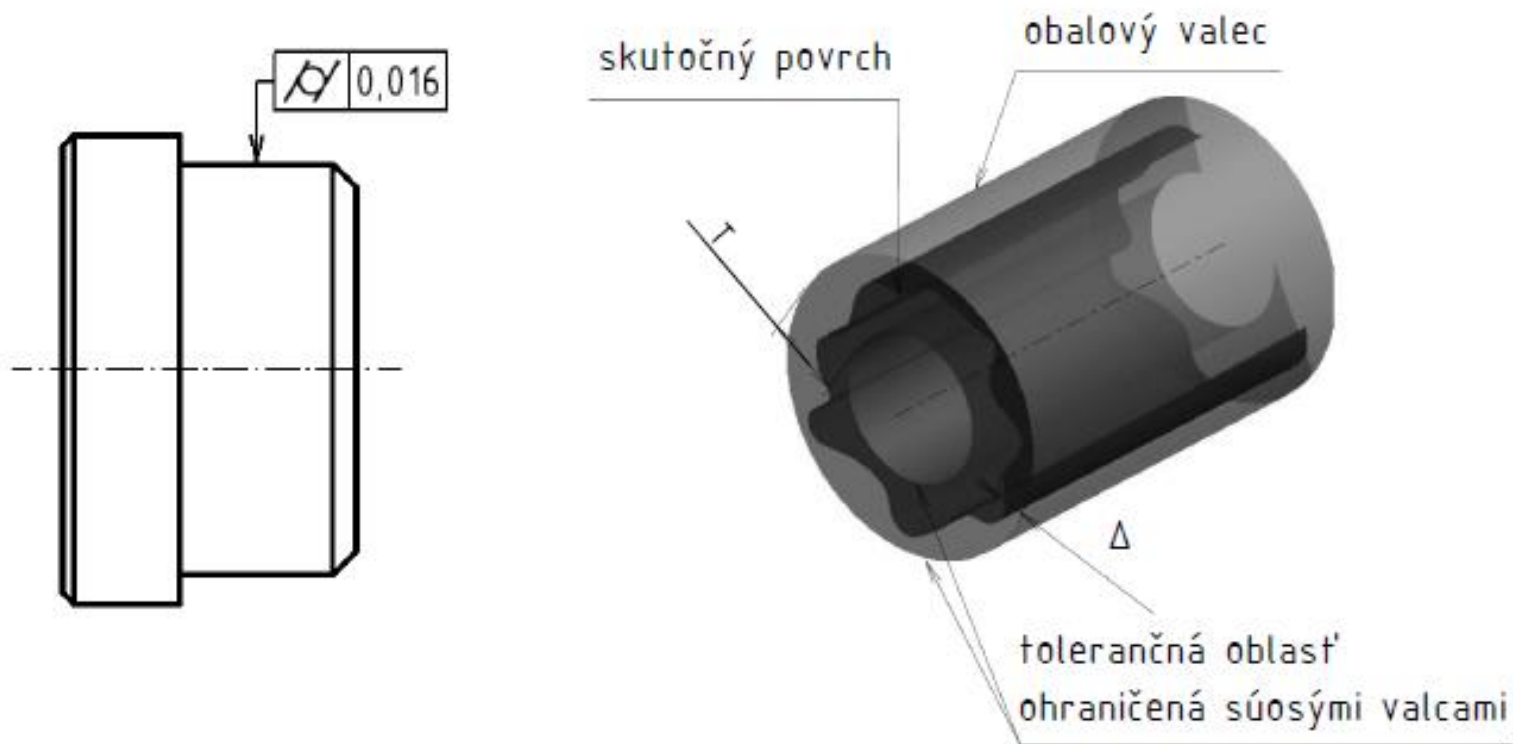
b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.9 Predpis tolerancie kruhovitosti

7.3.4 VALCOVITOSŤ

Odchýlka valcovitosti je vzdialenosť Δ bodov skutočnej plochy od obalového valca v rozsahu vzťažného úseku L . Tolerančná zóna valcovitosti je oblasť v priestore ohraničená dvoma súosovými valcami vzdialenými od seba o dĺžku rovnajúcu sa tolerancii valcovitosti T .

Definícia: Úplný povrch valca je vymedzený dvoma súosovými valcami s radiálnou vzdialenosťou T . Priemery súosových valcov nie sú definované.



a) predpis na výkrese

b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.10 Odchýlka tolerance valcovitosti

7.4 TOLERANCIE SMERU

Tolerancie smeru (*rovnobežnosti, kolmosti, sklonu*) vymedzujú dovolenú polohu geometrického útvaru vzhľadom k základni. Odchýlka smeru (*rovnobežnosti, kolmosti, sklonu*) je odchýlka skutočnej polohy posudzovaného prvku od jeho menovitej polohy, ktorá je určená menovitými dĺžkovými a uhlovými rozmermi medzi daným prvkom a základňou, resp. medzi posudzovanými prvkami (keď nie je určená základňa). V prípade tolerancií smeru je tolerančná oblasť v priestore alebo v danej rovine, v ktorej musí ležať posudzovaný obalový prvok v rozsahu vzťažného úseku. Šírka alebo priemer tolerančnej zóny sa určuje hodnotou tolerancie. Jednotlivé typy tolerancií sú vysvetlené na typických príkladoch.

7.4.1 ROVNOBEŽNOSŤ

Definícia: *Poloha všetkých bodov geometrického prvku (osi otvoru alebo skutočného povrchu rovín, resp. ich vybraných tvoriacich priamok) je vymedzená dvomi rovnobežnými rovinami, ktoré sú navzájom vzdialené o hodnotu T a sú rovnobežné so základňou.*

7.4.1 ROVNOBEŽNOSŤ

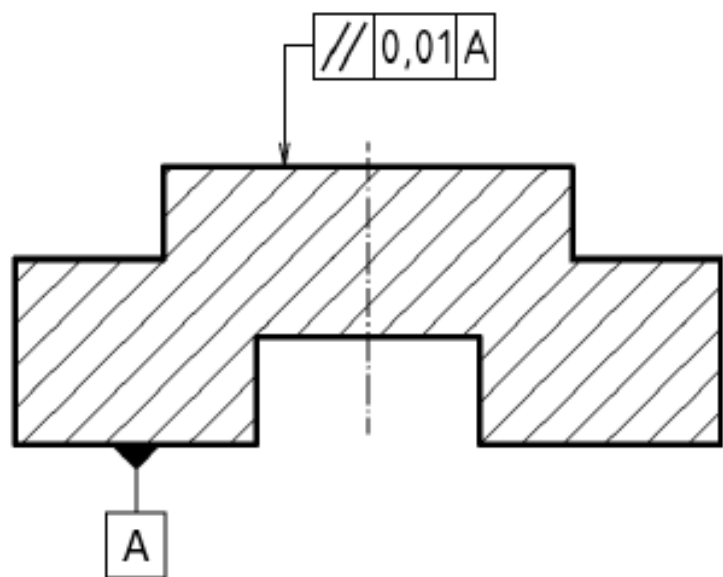
Definícia: *Poloha všetkých bodov geometrického prvku (osi otvoru alebo skutočného povrchu rovín, resp. ich vybraných tvoriacich priamok) je vymedzená dvomi rovnobežnými rovinami, ktoré sú navzájom vzdialené o hodnotu T a sú rovnobežné so základňou.*

- **Tolerancia rovnobežnosti roviny vzťahovaná k základni tvorenej inou rovinou**

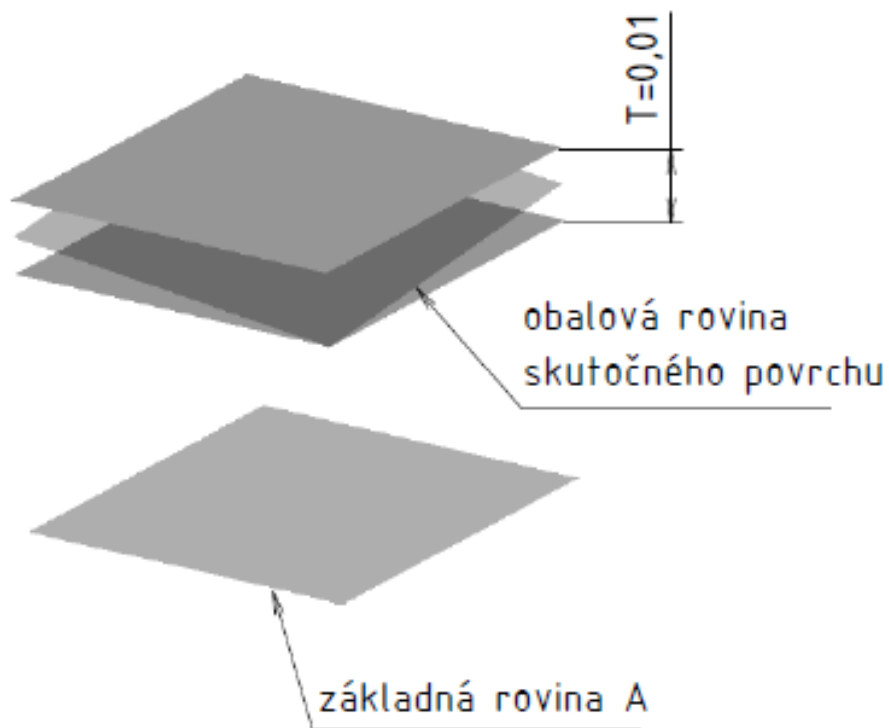
V príklade na *obrázku 7.11* je tolerančná oblasť, v ktorej by sa mali nachádzať všetky body skutočného tolerovaného povrchu, vymedzená dvomi rovnobežnými rovinami navzájom vzdialenými o hodnotu tolerancie $T = 0,01\text{mm}$, ktoré sú rovnobežné so základňou tvorenou rovinou A.

- **Tolerancia rovnobežnosti priamky vzťahovaná k základnému systému tvorenému priamkou a rovinou**

Na *obrázku 7.12* je príklad tolerancie rovnobežnosti osi diery v dvoch navzájom kolmých smeroch. Tolerančná oblasť, v ktorej by sa mali nachádzať všetky body tolerovanej osi otvoru, je vymedzená dvoma párami rovnobežných rovín navzájom na seba kolmých a vzdialených o hodnoty tolerancie $T_1 = 0,1\text{mm}$ a $T_2 = 0,2\text{mm}$. Obe dvojice rovnobežných rovín sú rovnobežné so základňou tvorenou priamkou A (os vzťahného otvoru).

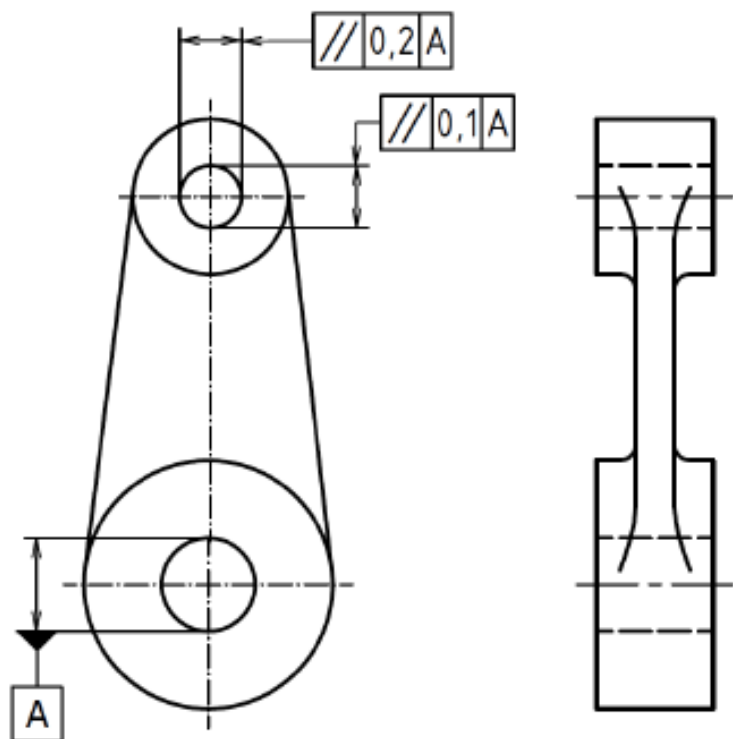


a) predpis na výkrese

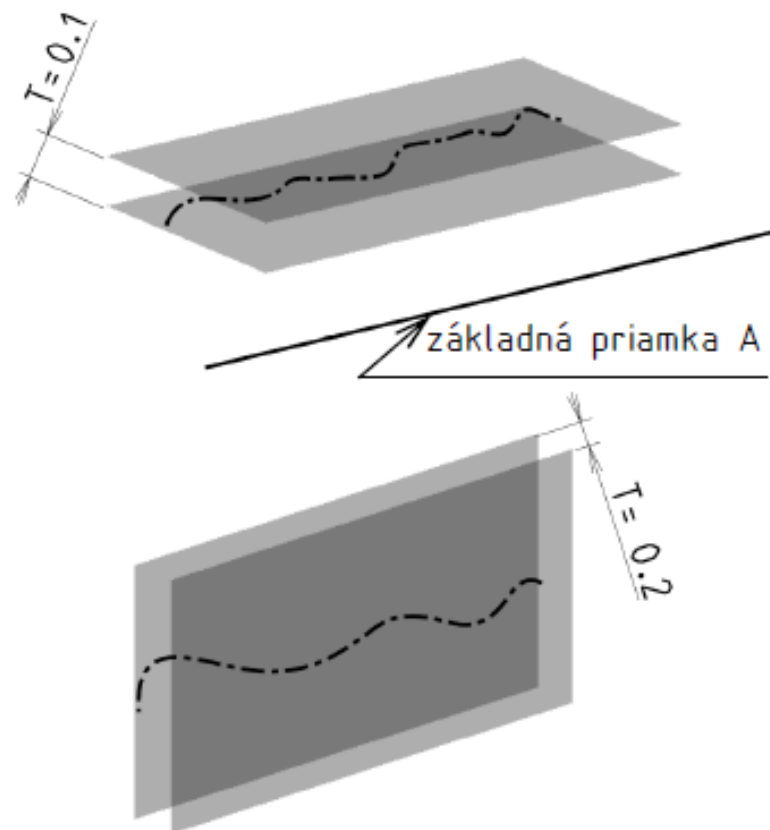


b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.11 Rovnobežnosť roviny vzťahovaná k základni tvorenej inou rovinou



a) predpis na výkrese

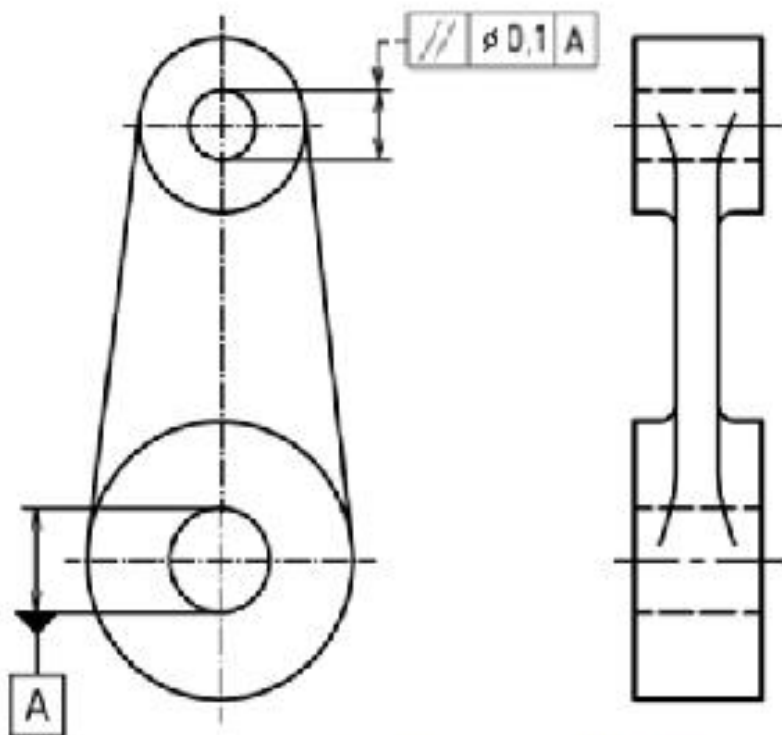


b) tolerančná oblasť

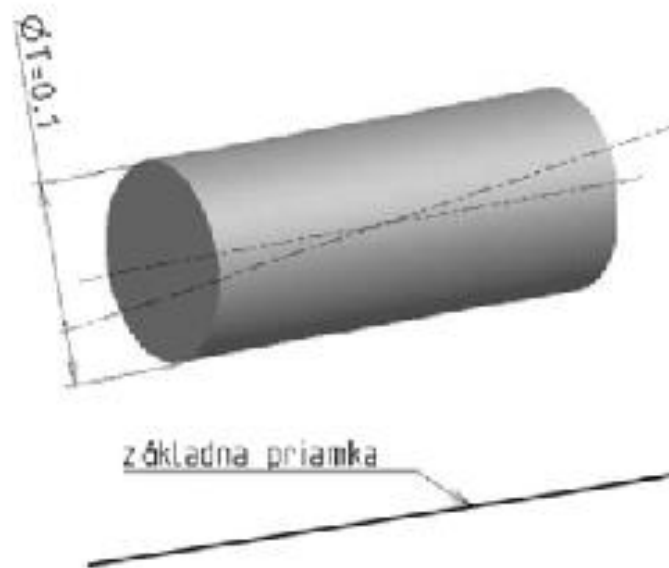
Obrázok 7.12 Rovnobežnosť osí v dvoch navzájom kolmých smeroch

- **Tolerancia rovnobežnosti priamky vzťahovaná k základni tvorenej priamkou**

Na *obrázku 7.13* je príklad tolerancie rovnobežnosti osi diery, ktorá je vzťahovaná k inej osi diery. Tolerančná oblasť, v ktorej by sa mali nachádzať všetky body tolerovanej osi otvoru, je vymedzená valcom s priemerom $T_I = 0,1\text{mm}$, ktorý je rovnobežný so základňou tvorenou priamkou A (os vzťažného otvoru). V tolerančnom rámečku sa pred hodnotou tolerancie uvedie značka ϕ .



a) predpis na výkrese



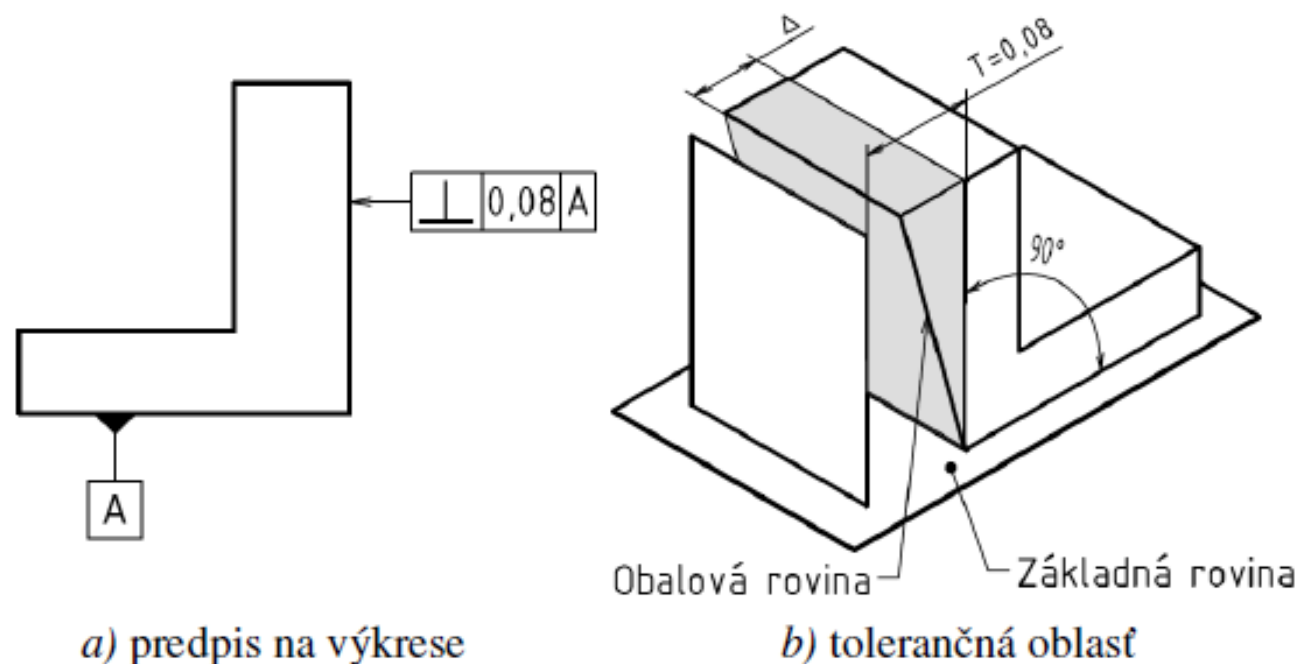
b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.13 Rovnobežnosť osí vzťahovaná k os

7.4.2 KOLMOST'

Definícia: *Poloha všetkých bodov geometrického prvku (osi otvoru alebo skutočného povrchu rovín, resp. ich vybraných tvoriacich priamok) je vymedzená dvomi rovnobežnými rovinami, ktoré sú navzájom vzdialené o hodnotu T a sú kolmé na základňu.*

Na obrázku 7.14 je uvedený príklad tolerancie kolmosti roviny, ktorá je vzťahovaná k inej rovine. Odchýlka kolmosti rovín je odchýlka uhla Δ medzi rovinami od uhla 90° vyjadrená v dĺžkových jednotkách. Tolerančná oblasť, v ktorej by sa mali nachádzať všetky body skutočného tolerovaného povrchu, je vymedzená dvomi rovnobežnými rovinami vzdialenými od seba o hodnotu tolerancie kolmosti $T = 0,08\text{mm}$ a kolmými na základňu A.



a) predpis na výkrese

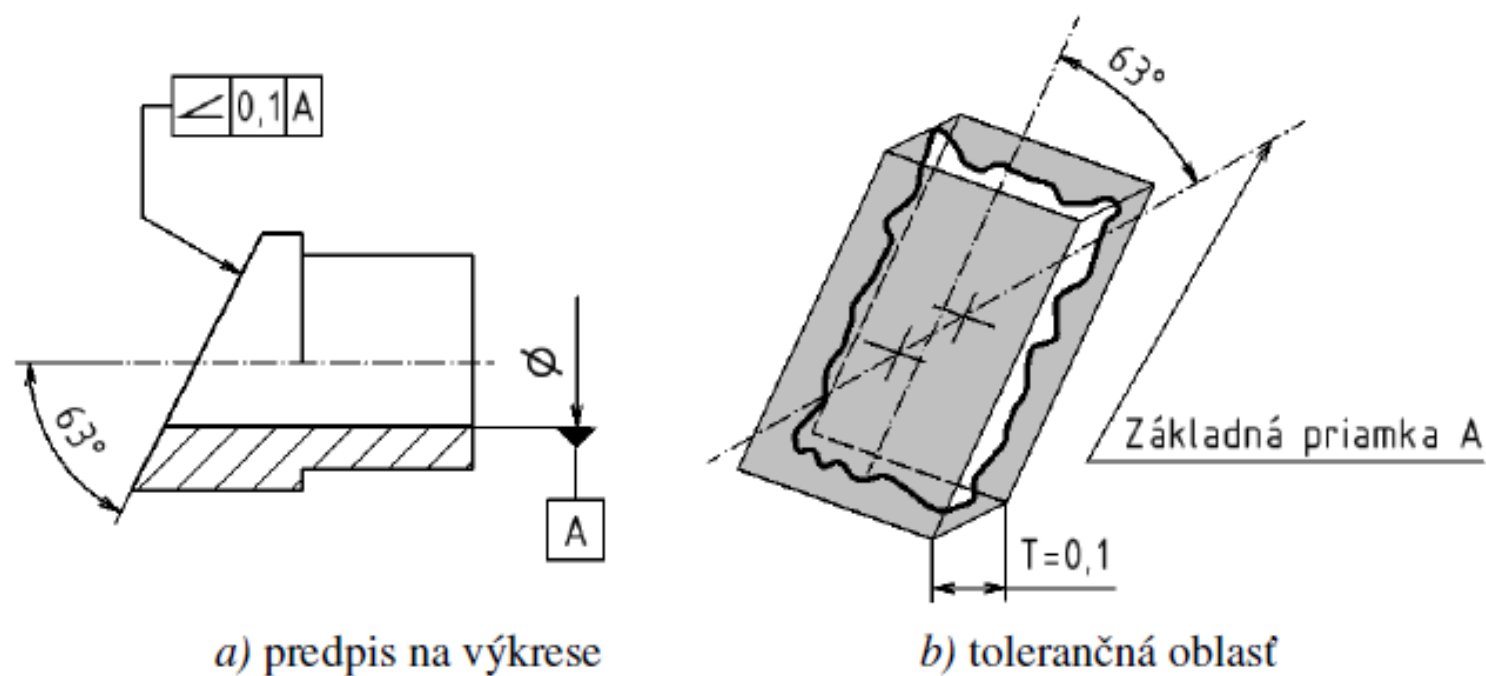
b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.14 Kolmost' roviny vzťahovaná k inej rovine

7.4.3 SKLON

Definícia: *Poloha všetkých bodov geometrického prvku (osi otvoru alebo skutočného povrchu rovín, resp. ich vybraných tvoriacich priamok) je vymedzená dvomi rovnobežnými rovinami, ktoré sú navzájom vzdialené o hodnotu T a sú sklonené o teoreticky presný uhol voči základni.*

Odchýlka sklonu osi alebo roviny k rovine alebo k osi je odchýlka uhla medzi rovinou a základňou alebo základnou osou od menovitého uhla, vyjadrená v dĺžkových jednotkách. Na obrázku 7.15 je uvedený príklad tolerancie sklonu roviny, ktorá je vzťahovaná k základni tvorenej priamkou. Tolerančná oblasť, v ktorej by sa mali nachádzať všetky body skutočného tolerovaného povrchu, je vymedzená dvomi rovnobežnými rovinami vzdialenými od seba o hodnotu tolerancie sklonu $T = 0,1\text{mm}$, ktoré sú sklonené o teoretický presný uhol voči základni tvorenej priamkou (osou) A.



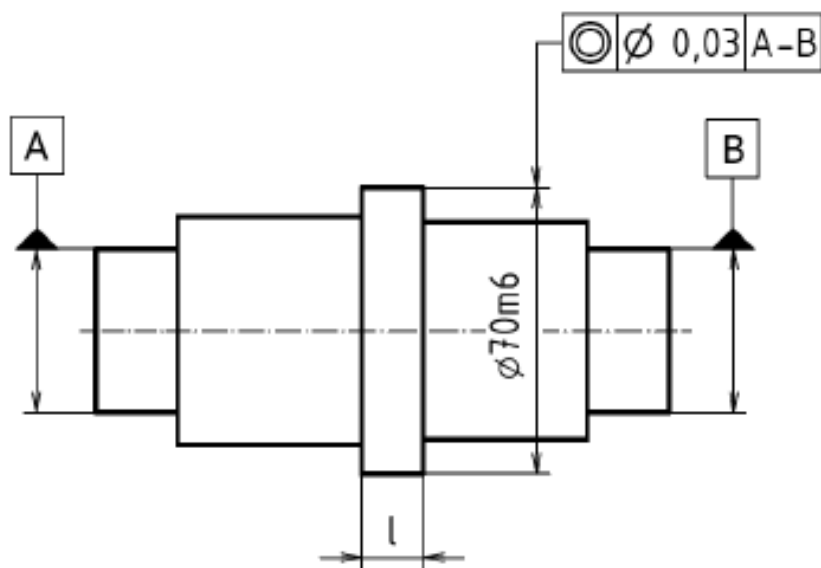
Obrázok 7.15 Sklon roviny vzťahovaný k priamke (osi)

7.5 TOLERANCIE POLOHY

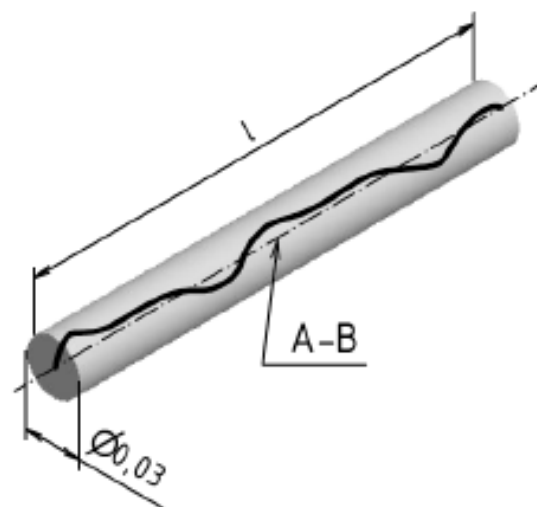
7.5.1 SÚSOVOŠŤ

Definícia: *Poloha všetkých bodov tolerovaného geometrického prvku (osi otvoru alebo osi skutočného valcového povrchu) je vymedzená cylindrickou oblasťou, ktorej stredová os je vzťažnou základňou.*

Na obrázku 7.16 je príklad predpisu súsovošti osi stredového valca hriadeľa a vzťažných osí dvoch otočných čapov. Os valca dĺžky l s rozmerom $\varnothing 90m6$ musí ležať v cylindrickej oblasti s priemerom hodnoty tolerance $T = 0,03mm$, ktorej os musí byť totožná so spoločnou základňou tvorenou osami A a B.



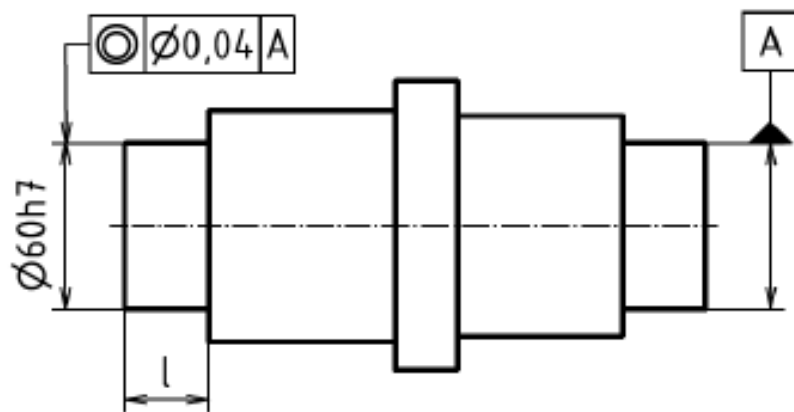
a) predpis na výkrese



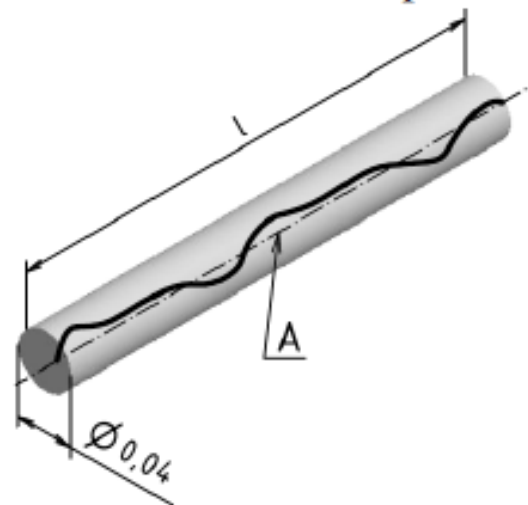
b) zväčšená tolerančná oblasť

Obrázok 7.16 Súsovošť osi vzťahovaná k obecnej osi

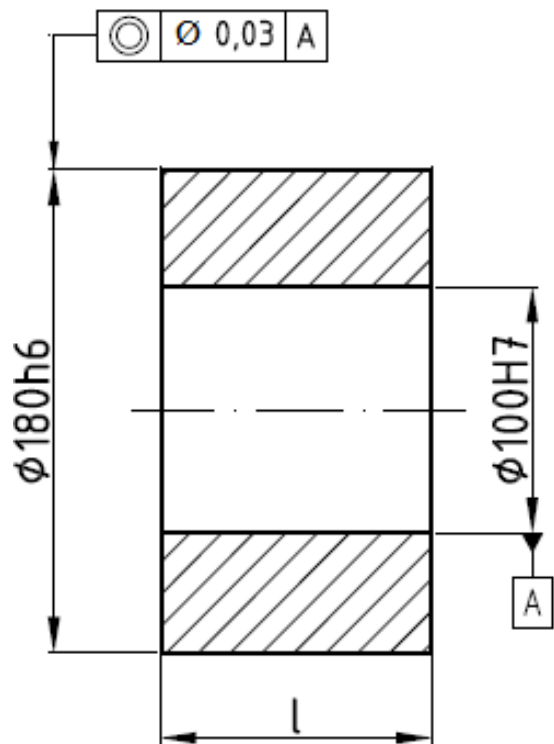
Príklady na *obrázku 7.17* ilustrujú predpis súosovosti osí dvoch valcových prvkov toho istého obrobku. V príklade na *obrázku 7.17a* by extrahovaná (aktuálna, tolerovaná, skutočná) os valcovej plochy jedného z otočných čapov hriadeľa s priemerom $\text{Ø}60\text{h}7$ mala byť v cylindrickej oblasti s priemerom hodnoty tolerancie $T = 0,04\text{mm}$ so základňou tvorenou priamkou A (teoretickou osou cylindrickej oblasti). V príklade na *obrázku 7.17c* by extrahovaná os vonkajšej valcovej plochy s priemerom $\text{Ø}180\text{h}6$ mala byť v cylindrickej oblasti s priemerom hodnoty tolerancie $T = 0,03\text{mm}$ so základňou tvorenou priamkou A.



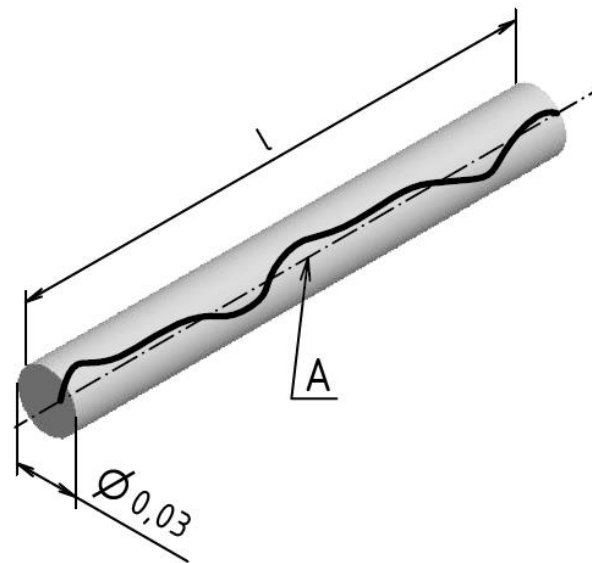
a) predpis na výkrese



b) zväčšená tolerančná oblasť



c) predpis na výkrese



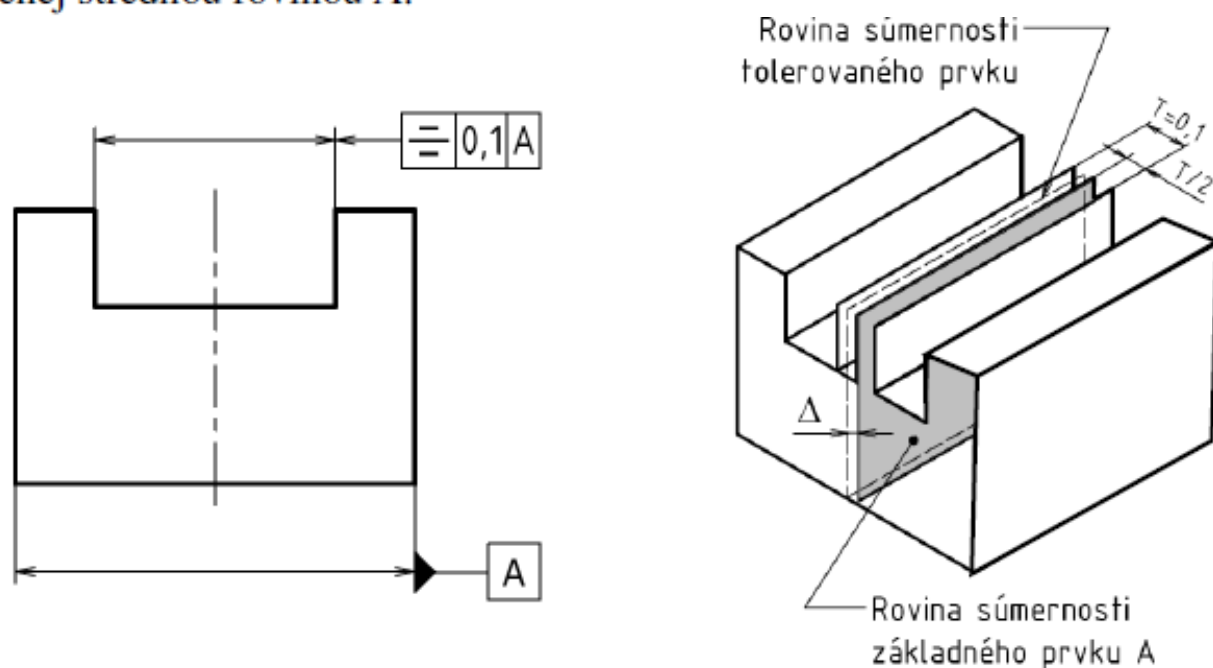
d) zväčšená tolerančná oblasť

Obr. 7.17 Príklady súosovosti osi vzťahovanej k inej osi

7.5.2 SÚMERNOSŤ

Definícia: *Poloha všetkých bodov extrahovanej (odvodenej) strednej roviny geometrického prvku (napr. drážky) je vymedzená dvomi rovnobežnými rovinami, ktoré sú navzájom vzdialené o hodnotu T a sú symetricky usporiadané okolo základnej roviny alebo osi.*

Príklad predpisovania tolerancie súmernosti je na obrázku 7.18. Odchýlka súmernosti Δ je vzdialenosť medzi rovinou súmernosti posudzovaného prvku a rovinou súmernosti základného prvku A. Extrahovaná (odvodená) stredná rovina posudzovaného prvku sa musí nachádzať v tolerančnej oblasti ohraničenej dvomi rovnobežnými rovinami, ktoré sú voči sebe vzdialené o hodnotu tolerancie súmernosti $T=0,1\text{mm}$ a symetricky usporiadané okolo základne tvorenej strednou rovinou A.



a) predpis na výkrese

b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.18 Súmernosť drážky vzťahovaná k rovine súmernosti

7.5.3 UMIESTNENIE

Tolerovanie umiestnenia opisuje norma ISO 5458: 1998 (STN EN ISO 5458: 2004) „*Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Geometrické tolerovanie. Tolerancie umiestnenia*“. Pri predpisovaní tolerancií umiestnenia na výkrese platia tieto zásady:

- Tolerancie umiestnenia sa vzťahujú na teoreticky presné rozmery a definujú medze polôh skutočných (extrahovaných) prvkov navzájom, ako sú body, osi, stredné povrchy, nominálne priame čiary a nominálne rovinné povrchy (napr. stred gule, osi diery alebo hriadeľa, strednej roviny žliabku), alebo ich polohu vzhľadom na jednu alebo viaceré základne (*Poznámka: Ak čiary nemožno považovať za priamky alebo povrchy za roviny, používa sa tolerovanie profilov*).

- Teoreticky presné uhlové a dĺžkové rozmery sa označujú vpísaním do obdĺžnikového rámčeka. Výnimku tvoria teoreticky presné rozmery 0° , 90° , 180° a dĺžkový rozmer 0 mm medzi prvkami s toleranciami umiestnenia navzájom (*obr. 7.20*), resp. medzi prvkami s toleranciami umiestnenia a ich vzťažnými základňami (*obr. 7.19*) sa na výkrese neuvádzajú.

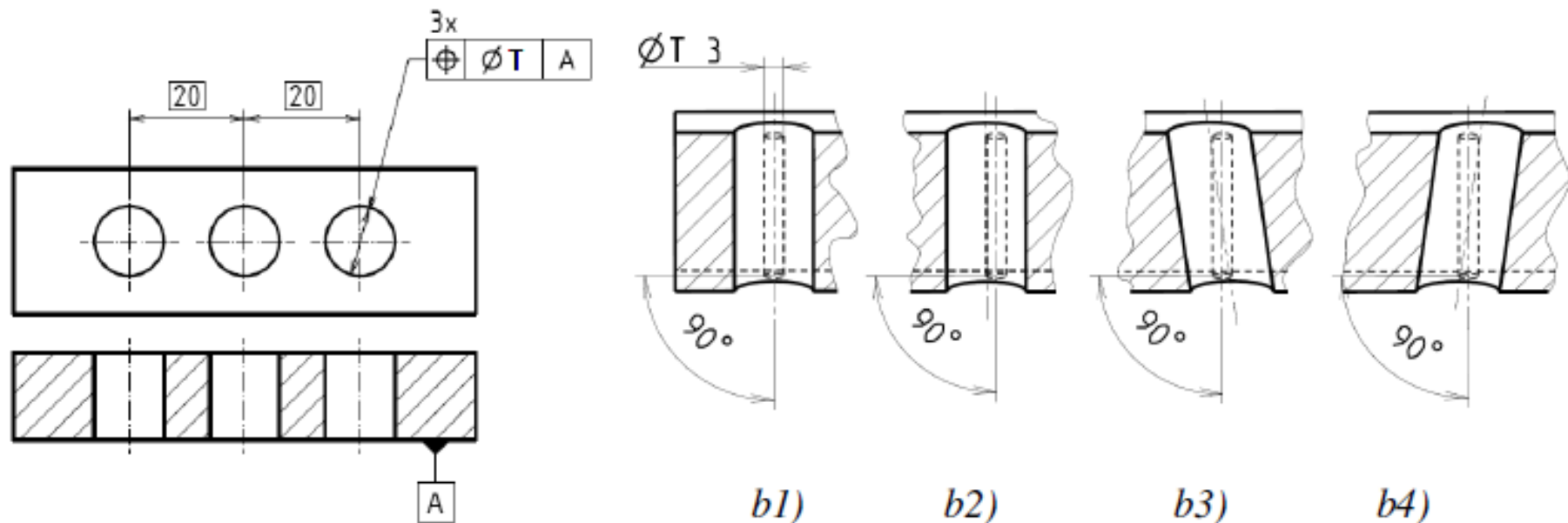
- Tolerančná zóna je súmerne rozložená okolo teoreticky presnej polohy. Na rozdiel od rozmerových tolerancií (\pm) tu nedochádza k sčítavaniu tolerancií tam, kde sú prvky umiestnené v reťazci.

- Rozstupy a tolerancie umiestnenia prvkov, ktoré majú spoločnú rozstupovú čiaru (kružnicu) alebo os, sú rovnaké, ak nie je určené inak, čo je nutné na výkrese uviesť príslušnou poznámkou (*obr. 7.20*).

- Z hľadiska smeru je možné toleranciu umiestnenia určiť *v jednom smere* (*obr. 7.21*), v dvoch, navzájom kolmých smeroch, alebo vo viacerých smeroch, pričom hodnoty tolerancií môžu byť rovnaké alebo rôzne.

- Tolerančná oblasť môže byť vymedzená rovinami alebo valcom.

- Smer odkazovej čiary tolerančného rámčeka naznačuje smer šírky tolerancie.



a) predpis na výkrese

b) vysvetlenie

Prípady *b1*, *b2*, *b3*, a *b4* sa môžu vyskytnúť pri ktorejkoľvek diere:

b1 os diery je zhodná s teoreticky presným umiestnením (nulová odchýlka)

b2 poloha osi diery pri maximálnej odchýlke umiestnenia a nulovej odchýlke kolmosti,

b3 poloha osi diery pri maximálnej odchýlke umiestnenia a maximálnej odchýlke kolmosti,

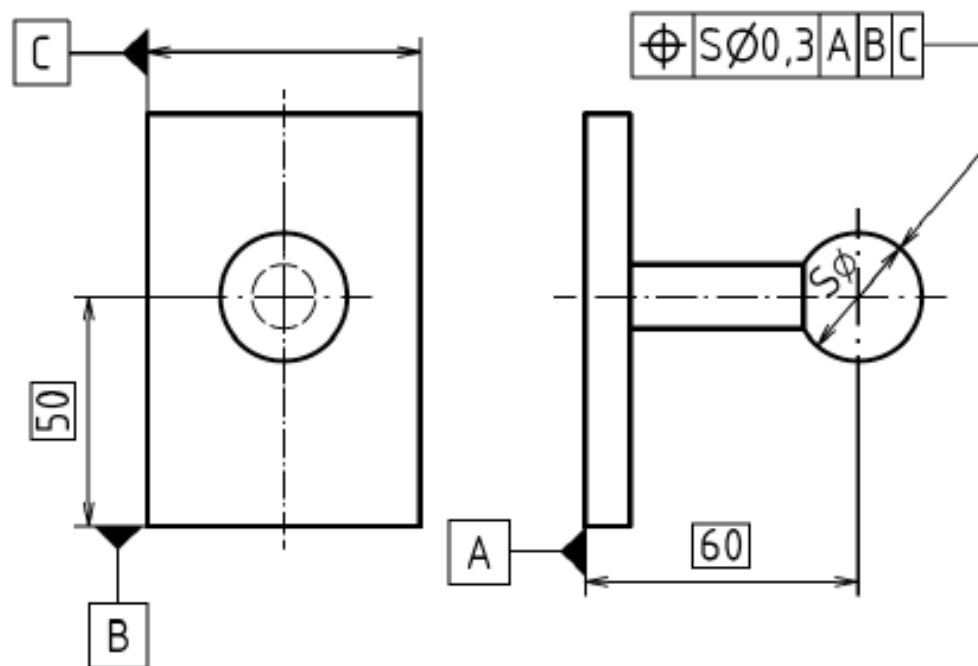
b4 Poloha osi diery pri maximálnej odchýlke umiestnenia v prípade, keď ide o kombináciu geometrických odchýlok.

Obrázok 7.19 Tolerancie osí otvorov na rozstupovej priamke.
Rôzne prípady polohy skutočnej osi otvoru vzhľadom na základňu A

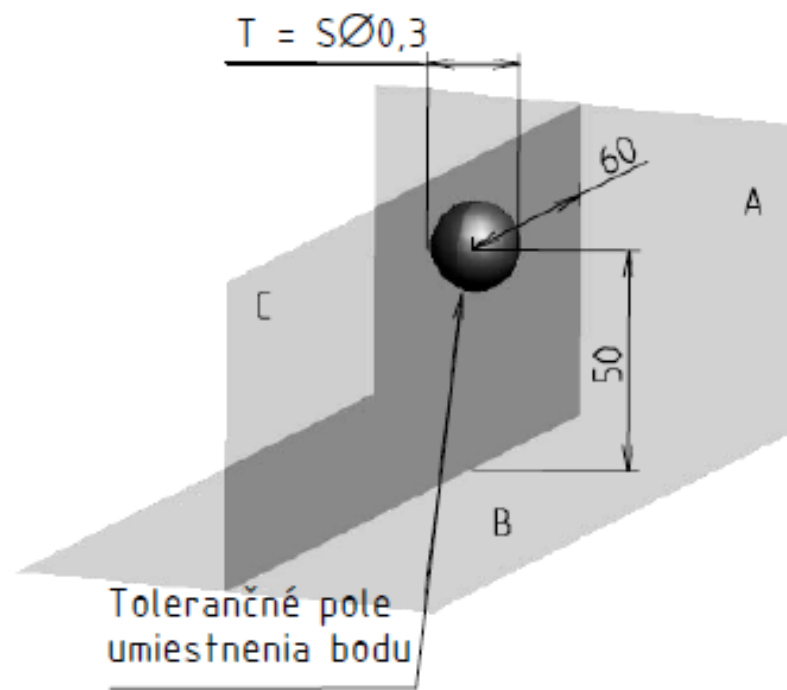
Na *obrázku 7.20b* je názorný príklad tolerovania umiestnenia bodu - stred gule tolerovaný toleranciou T od troch základní. Tolerančná oblasť je vymedzená medznými hodnotami gule s priemerom $T = 0,3m$, preto sa pred hodnotu tolerancie v tolerančnom rámečku musí uviesť značka $S\phi$. Stred guľovej tolerančnej oblasti je daný usporiadaním teoreticky presných rozmerov voči základniam A, B, a C. Vybraný stred gule sa má nachádzať vo vnútri guľovej tolerančnej oblasti.

Princíp tolerovania umiestnenia bodu, priamky a roviny je ďalej vysvetlený na konkrétnych príkladoch:

Tolerancie umiestnenia bodu



a) predpis na výkrese

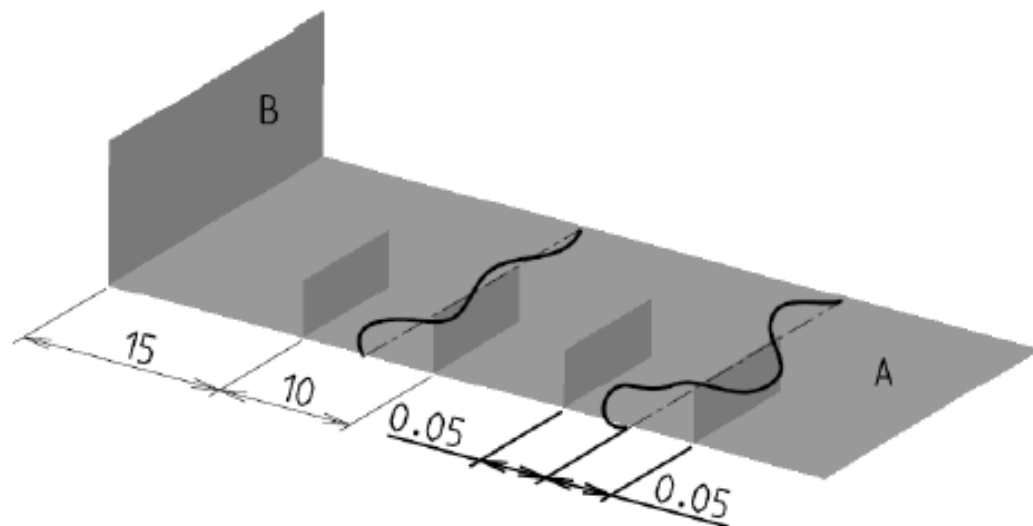
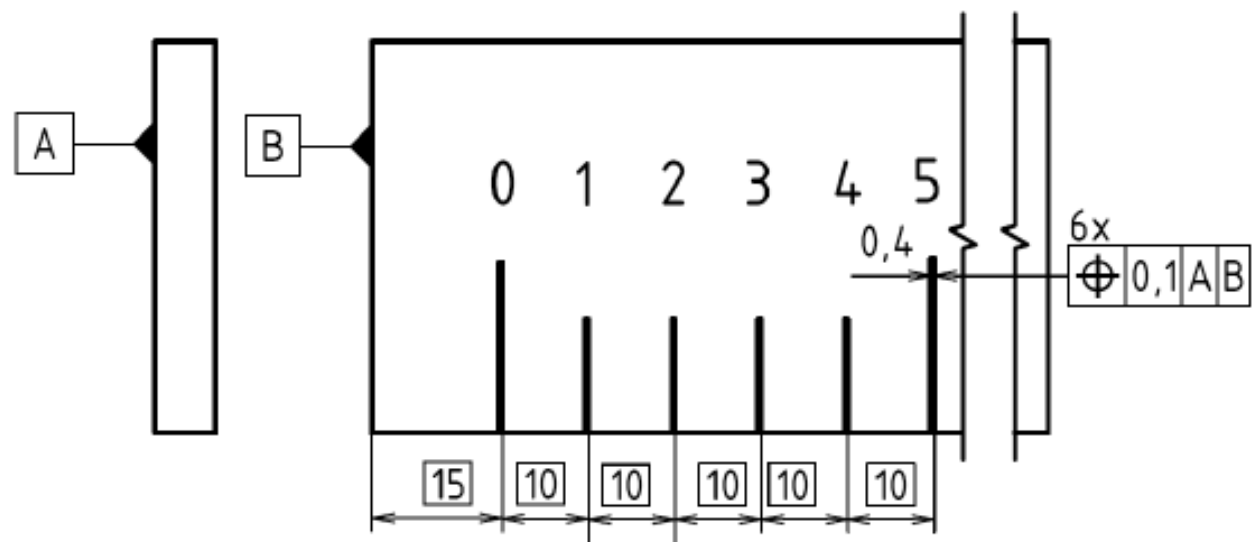


b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.20 Umiestnenie stredu gule vzťahované k základnému systému tvorenému tromi rovinami

Tolerancie umiestnenia priamky

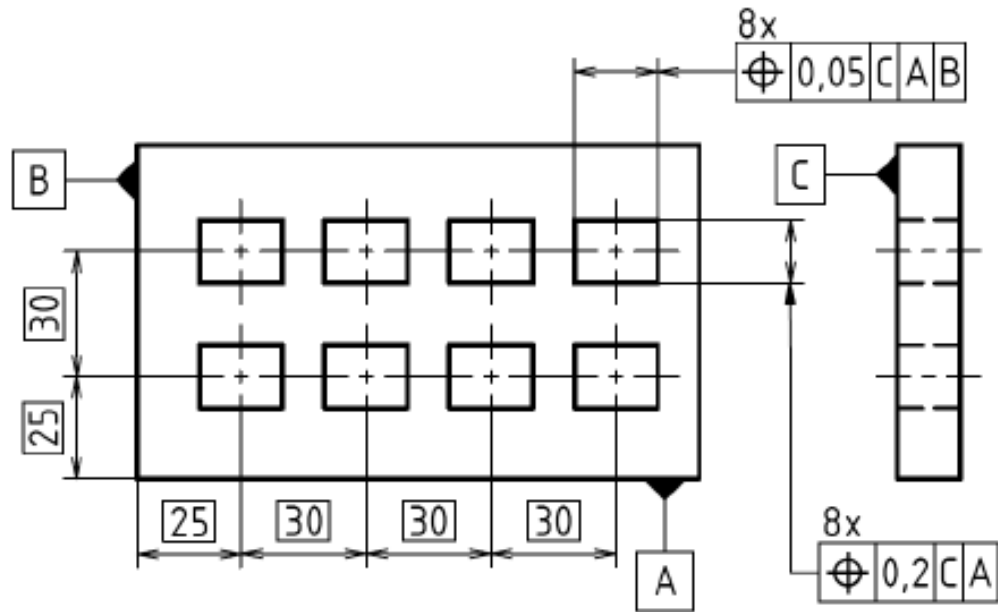
Na *obr. 7.21* je príklad tolerancie umiestnenia priamok (značiek na stupnici), ktorých poloha je vzťahovaná na systém tvorený dvoma rovinami A a B. Hodnota tolerancie je predpísaná len v jednom smere. Orientácia šírky tolerančnej oblasti je vzhľadom na základňu B určená teoreticky presným rozmerom 0° a vzhľadom na základňu A teoreticky presným rozmerom 90° , ktoré na výkrese nie sú priamo uvedené. Každá čiara stupnice sa musí nachádzať vnútri tolerančnej oblasti definovanej rovnobežnými priamkami vo vzdialenosti 0,1mm, symetricky usporiadanými vzhľadom na vzájomné teoreticky presné polohy jednotlivých čiar.



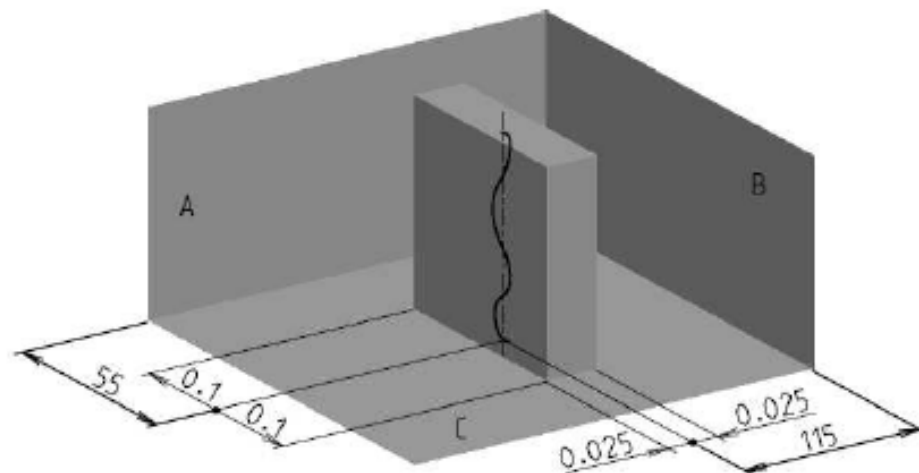
b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.21 Umiestnenie osí vzťahované k základnému systému vytvorenému dvoma základnými rovinami

Na *obr. 7.22* je príklad tolerancie umiestnenia osí vzťahovanej k systému troch základných rovín. Tolerančná oblasť je vymedzená dvoma párami rovnobežných rovín navzájom vzdialených o hodnotu $T_1 = 0,05\text{mm}$ a $T_2 = 0,2\text{mm}$, ktoré sú symetricky usporiadané okolo geometrickej osi. Os je daná teoreticky presnými rozmermi vzhľadom na základne C, A a B. Tolerancia je predpísaná v dvoch smeroch s rešpektovaním vzťažnej situácie.



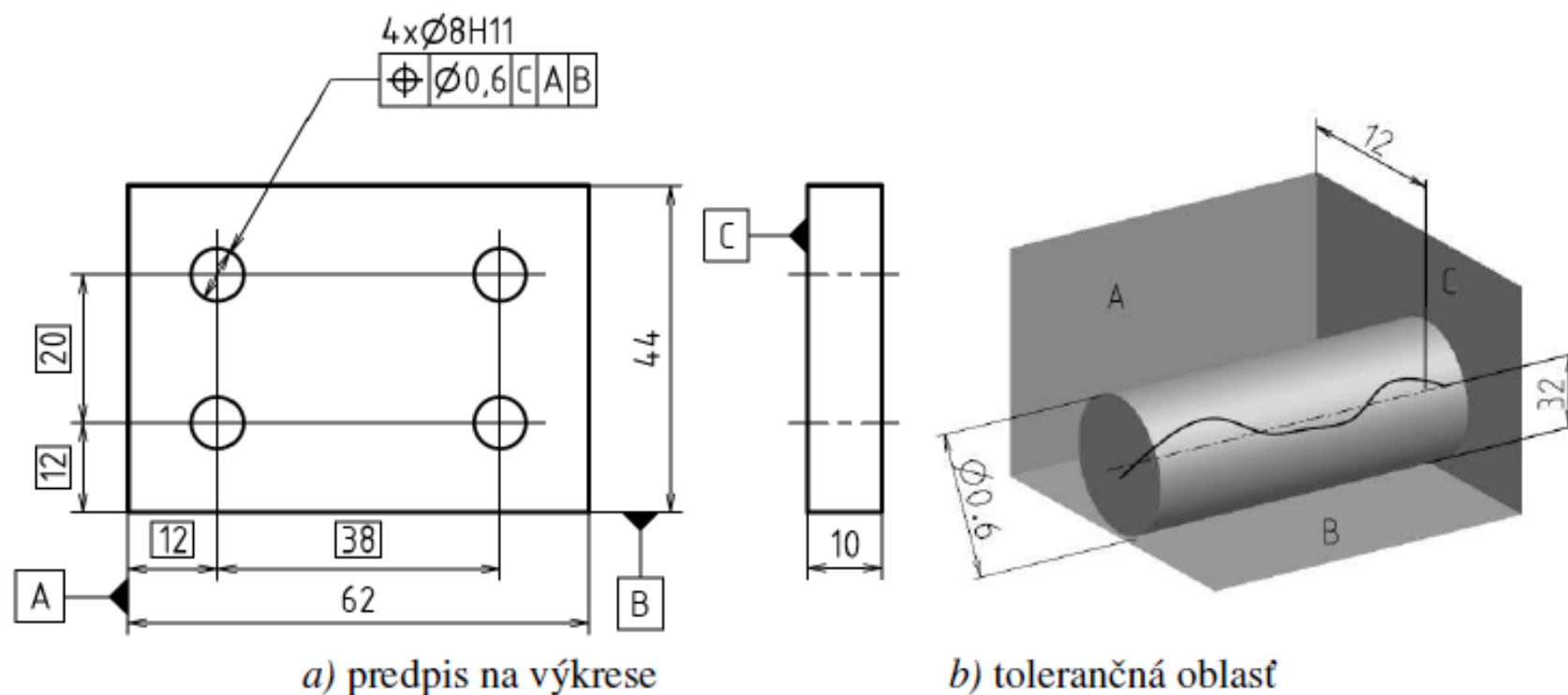
a) predpis na výkrese



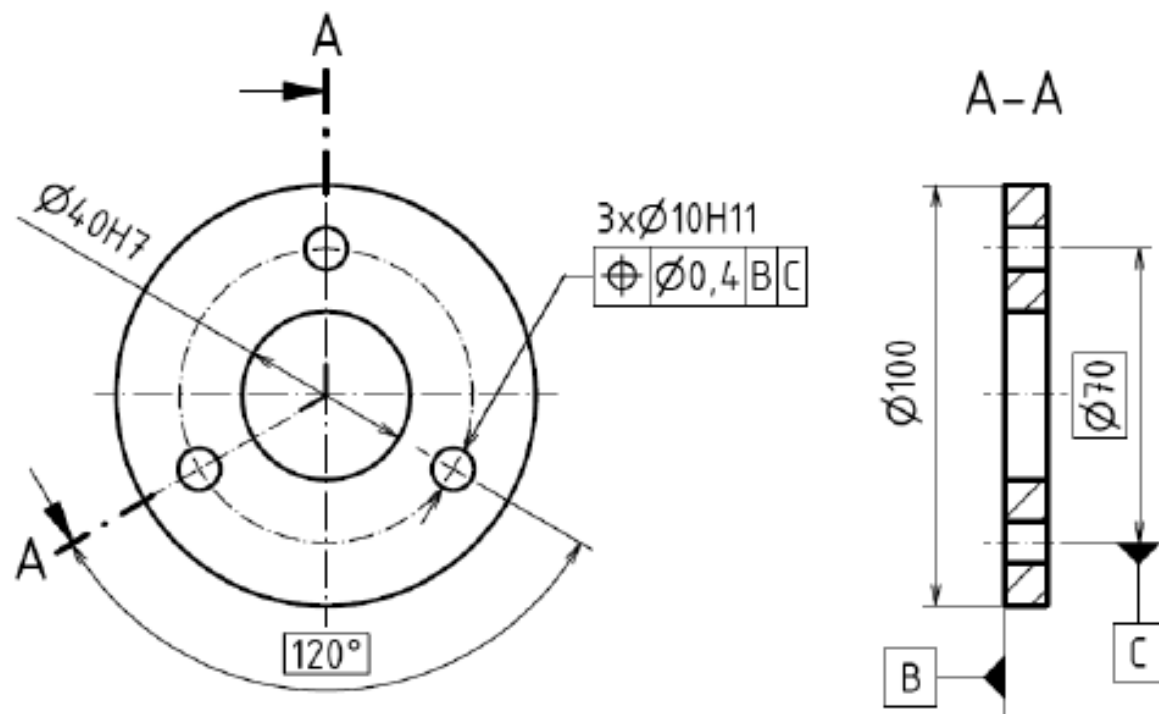
b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.22 Umiestnenie osí vzťahované k základnému systému vytvorenému tromi základnými rovinami

Na obr. 7.23 je uvedený príklad predpisovania tolerancie umiestnenia osí dier pri kótovaní ich polohy na rozstupových priamkach. Pre polohu osí všetkých otvorov platia rovnaké teoretické závislosti vzhľadom na základný systém. Značkou \ominus pred hodnotou tolerancie v tolerančnom rámečku je určená valcová tolerančná oblasť. Os je daná teoreticky presnými rozmermi vzhľadom na základne C, A, B. Skutočné (extrahované) osi všetkých dier musia ležať vo valcovej tolerančnej oblasti s priemerom $T = 0,6\text{mm}$. Tolerančné oblasti sú kolmé na základňu C a ich vzájomná poloha a poloha vzhľadom na základne A a B je daná teoreticky presnými rozmermi.

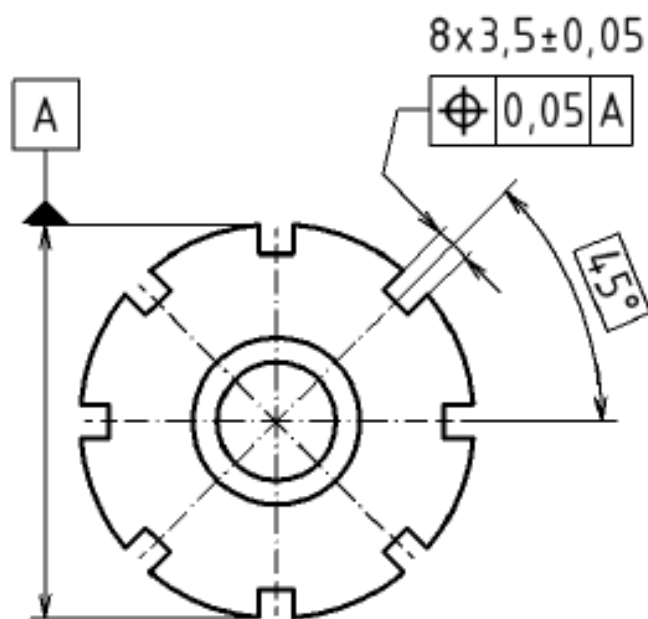


Obrázok 7.23 Predpis tolerancie umiestnenia osí dier pri kótovaní rozstupovými kótami.

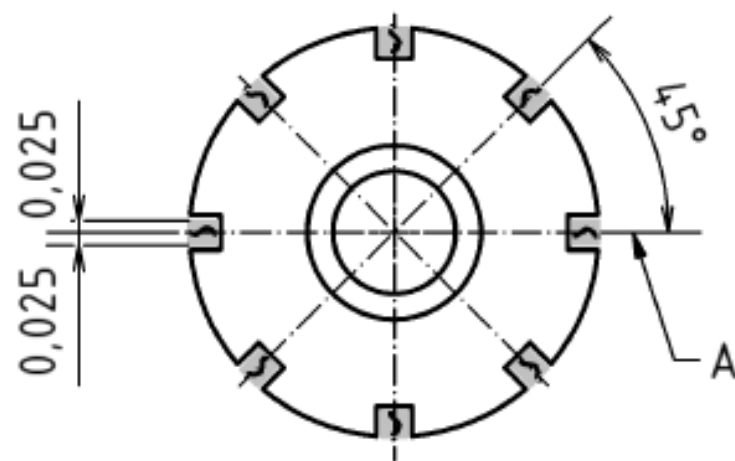


Obrázok 7.24 Predpis tolerancie umiestnenia (tolerancie menovitej polohy) osí dier pri kótovaní na rozstupovej kružnici

Na obrázku 7.25 je príklad tolerancie umiestnenia roviny symetrie vzťahovanej k priamke. Extrahovaný (odvođený) stredný povrch by mal byť medzi dvoma rovnobežnými rovinami navzájom vzdialenými o hodnotu $T = 0,05\text{mm}$, ktoré sú symetricky usporiadané okolo teoreticky presného umiestnenia strednej roviny, vzhľadom na základňu tvorenú osou A.



a) predpis na výkrese



b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.25 Predpis tolerancie umiestnenie roviny symetrie vzťahované k priamke

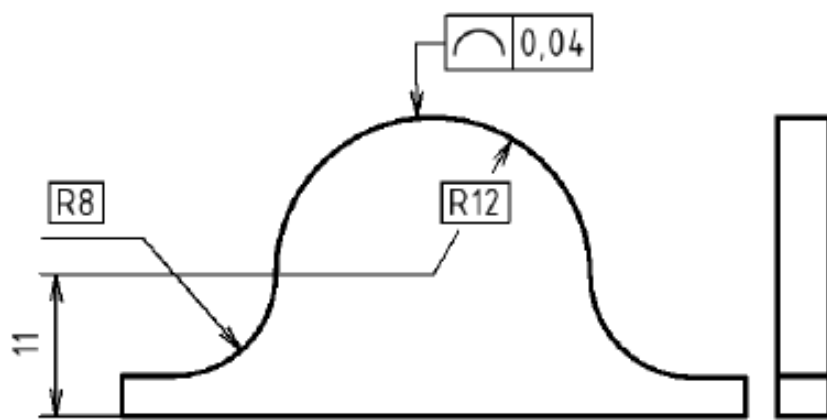
7.6 TOLERANCIE TVARU PROFILU A TVARU PLOCHY

V norme ISO 1101 sú definované tri kategórie tolerovania tvaru profilu a tvaru plochy (*Tab. 7.1a*), ktoré sú v určitom vzájomnom vzťahu. V zásade sa tolerovanie tvaru profilu a tvaru plochy týka tvaru alebo podoby útvarov na obrobku. Na predpisovanie tolerancie základného systému sa tiež viaže smer a poloha útvaru. Určením tolerancie tvaru je vymedzená len odchýlka od teoreticky presného tvaru. Tolerancia smeru tvaru profilu a tvaru plochy nevymedzuje len smer, ale tiež určuje obmedzenia pre toleranciu tvaru. Tolerancia polohy má vplyv na všetky tolerancie tvaru, smeru a polohy, kladie tak najvyššie nároky na dosiahnutie stanovenej presnosti obrobku. Výber tolerancií pre tvar profilu a tvar plochy útvarov obrobku je preto potrebné vykonať s dôrazom na výrobné náklady a s uvažovaním optimálneho výberu požadovaných funkčných vlastností obrobku.

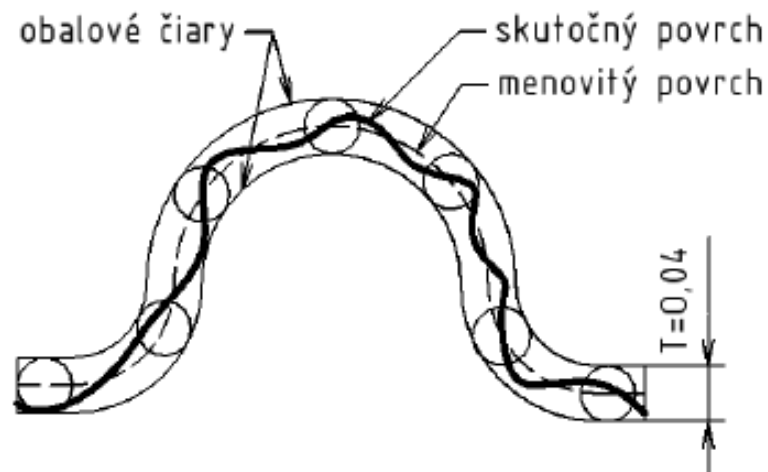
7.6.1 TOLERANCIE TVARU PROFILU

Definícia: Tolerančná oblasť pre tvar profilu je vždy definovaná medzi dvoma čiarami, ktoré tvoria obálku k skupine imaginárnych kružníc s priemerom T . Tolerančná oblasť a všetky kružnice predpísanej tolerancie sú umiestnené v rovine a stredy kružníc ležia na teoreticky presnom geometrickom tvare profilu (obr. 7.26a). Skutočný tvar profilu musí byť v takto vymedzenej tolerančnej oblasti; v každom priereze obrobku rovnobežnom s priemetom a v ktorom je tolerancia predpísaná. Okrem toho smer a poloha profilu sú určované vo vzťahu k základnému systému zadáním ďalších obmedzení pre skutočný profil.

V najjednoduchšom prípade na *obrázku 7.26b* môže byť tolerancie tvaru profilu na obrobku predpísaná bez určenia základne. Tolerancia sa potom týka len iba geometrického tvaru profilu, nie jeho smeru a polohy. Tolerančný rámček na výkrese potom okrem značky predpísanej geometrickej tolerancie udáva len hodnotu tolerancie $T=0,04$ (priemery kružníc). Odchýlka tvaru profilu Δ je odchýlka bodov skutočného profilu od menovitého profilu, určená v smere normály k menovitému profilu.



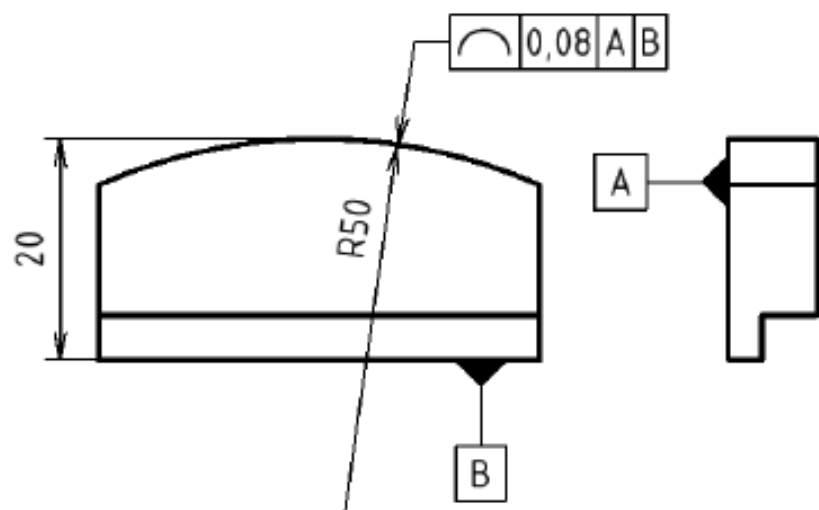
a) predpis na výkrese



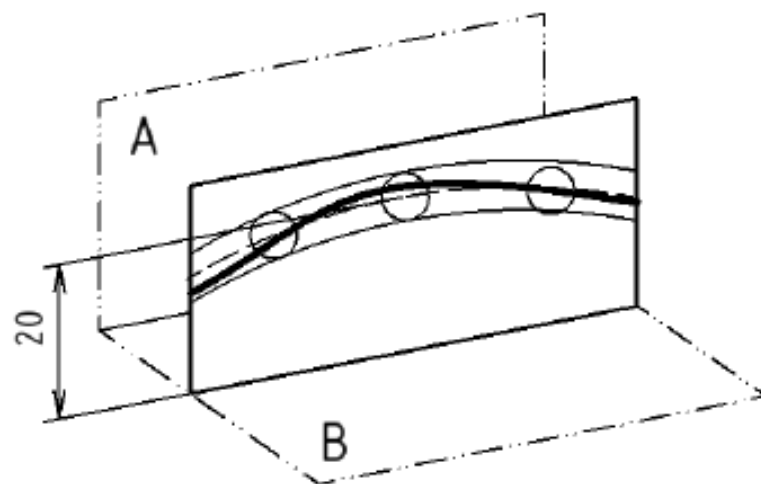
b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.26 Tolerancia tvaru profilu bez odvolávky na základný systém

Na *obrázku 7.27a* je tolerancia tvaru profilu na obrobku predpísaná vo vzťahu k základnému systému. Určuje, že skutočný tvar profilu v každom reze rovnobežnom s rovinou A musí byť v oblasti ohraničenej dvoma obalovými plochami k imaginárnym kružniciam o priemere $T = 0,05\text{mm}$, ktorých stredy ležia na teoreticky presnom geometrickom tvare. Okrem toho, tento presný tvar musí byť v určenej vzdialenosti od základnej roviny B.



a) predpis na výkrese

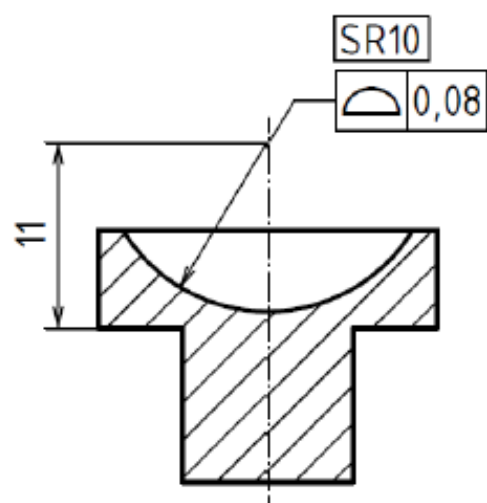


b) tolerančná oblasť

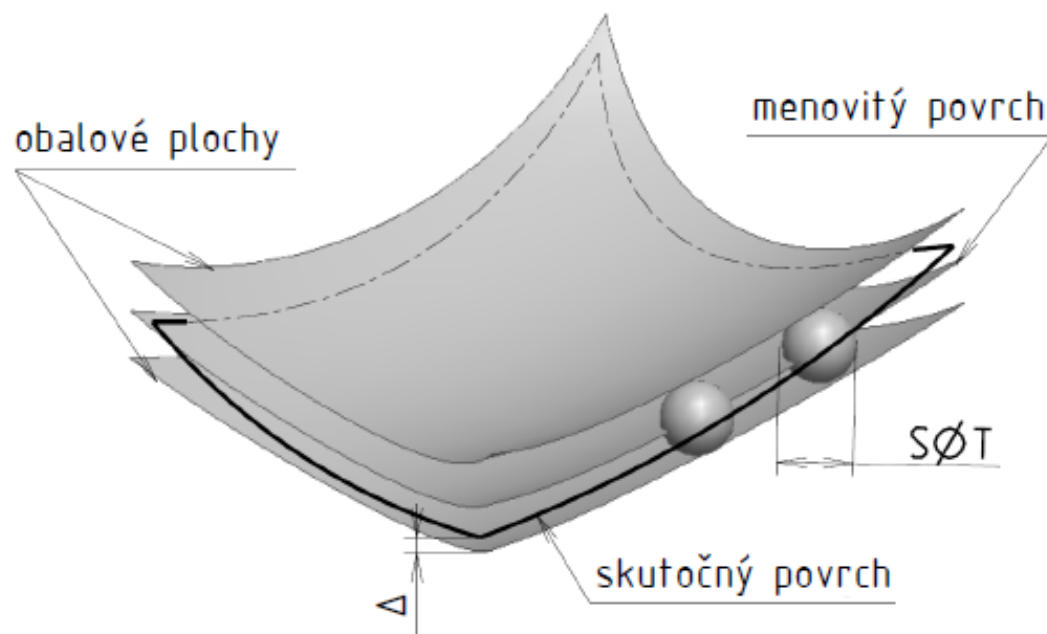
Obrázok 7.27 Tolerancia tvaru profilu predpísaná vzhľadom na základný systém

7.6.2 TOLERANCIE TVARU PLOCHY

Definícia: Tolerančná oblasť pre tvar profilu je vždy definovaná medzi dvoma plochami, ktoré tvoria obálku k skupine imaginárnych gúľ s priemerom T a stredmi ležiacimi na ploche teoreticky presného geometrického tvaru (obr. 7.28b). Všetky body skutočnej tolerovanej plochy musia byť v takto vymedzenej tolerančnej oblasti. Odchýlka tvaru plochy Δ je odchýlka bodov skutočnej plochy od menovitej plochy, určená v smere normály k menovitej ploche. Okrem toho smer a poloha plochy sú určované vo vzťahu k základnému systému zadaním ďalších obmedzení pre skutočný profil.

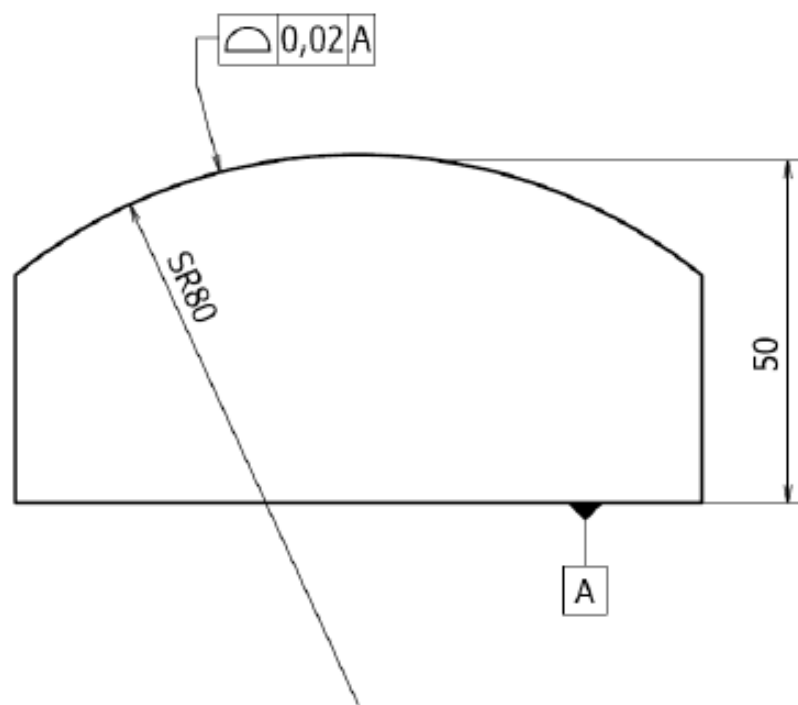


a) predpis na výkrese

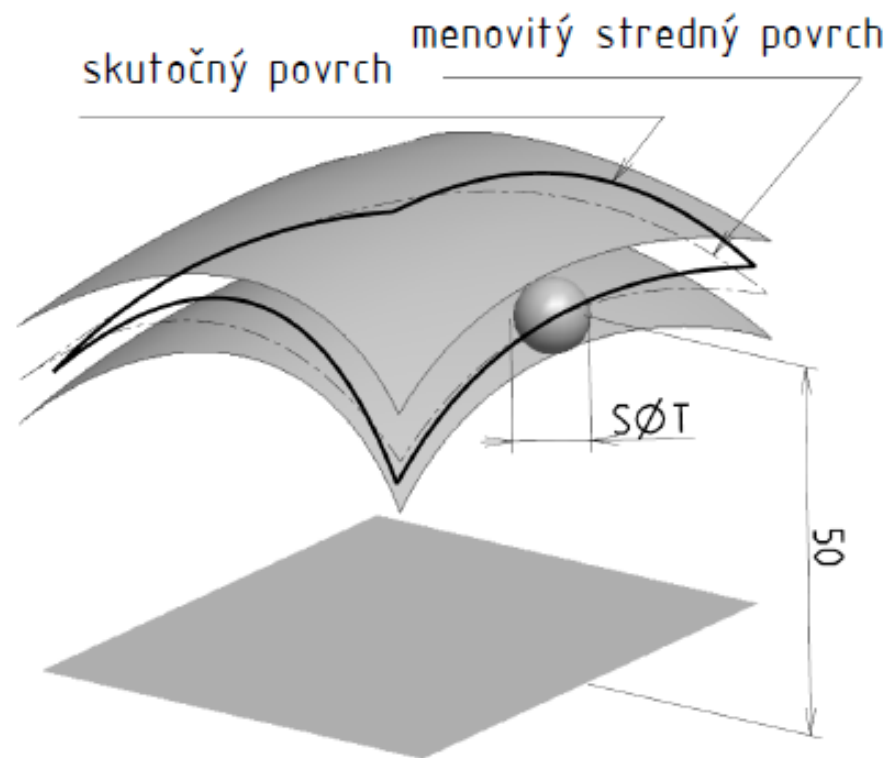


b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.28 Tolerancia tvaru plochy bez odvolávky na základňu



a) predpis na výkrese



b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.29 Tolerancia tvaru plochy vzťahovaná k rovine A

7.7 TOLERANCIE HÁDZANIA

Vo všeobecnosti sa predpis hádzania týka opisu plôch obrobku, ktoré majú symetrický rotačný tvar a ich odchýlok od teoreticky presného kruhového tvaru. Odchýlky hádzania sa vždy vyhodnocujú pri pootočení tolerovaného prvku o jednu otáčku, ak nie je na výkrese uvedené inak. **Tolerancia hádzania je vždy vzťahovaná k osi rotácie. Tolerančné oblasti sú definované kružnicami alebo valcami, ktorých polomery sa líšia o hodnotu predpísanej tolerancie.** Podľa tvaru a rozmerov tolerančnej oblasti, spôsobu merania a vyhodnocovania hádzania sú definované dva základné spôsoby tolerovania hádzania:

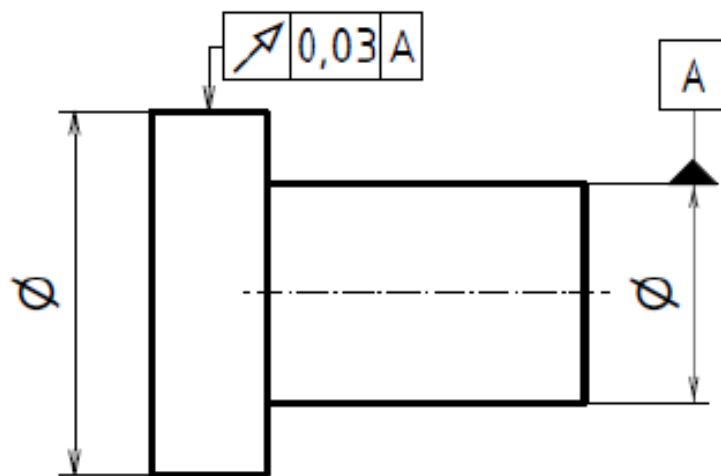
- kruhové hádzanie,
- celkové hádzanie.

7.7.1 KRUHOVÉ HÁDZANIE

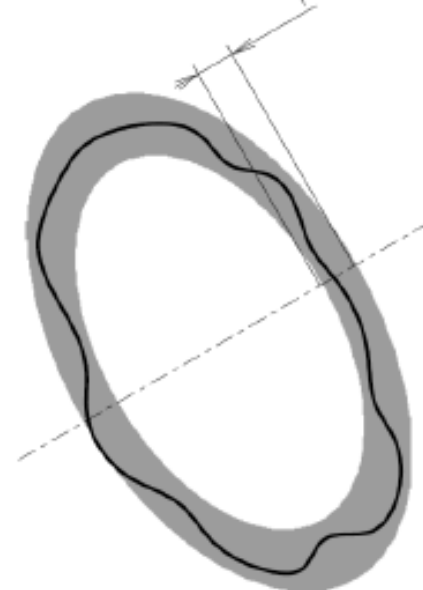
Na základe funkčných požiadaviek, geometrie obrobku, vzťahu medzi smerom merania a osou rotácie je možné na výkrese predpísať:

- *Kruhové hádzanie v radiálnom smere* (obvodové hádzanie) (*obr. 7.30, 7.31*).
- *Kruhové hádzanie v axiálnom smere* (čelné hádzanie) (*obr. 7.32*).
- *Kruhové hádzanie v ľubovoľnom smere* (*obr. 7.33*).

- Príklad predpisu *kruhového hádzania v radiálnom smere* je uvedený na *obr. 7.30a*. Jednoduchý obrobok má toleranciu kruhového hádzania predpísanú pre valcovú plochu dĺžky l s normálou v radiálnom smere voči osi rotácie (hádzania) určenej základňou A. *Odkazová čiara tolerančného rámčeka určujúca tolerovanú plochu je na výkrese vždy umiestnená do smeru, v ktorom je hádzanie predpísané*, v danom prípade v smere radiálnom vzhľadom na os hádzania. *Tolerančná oblasť hádzania (obr. 7.30b)* je definovaná ako oblasť medzikružia v rovine kolmej k osi A vymedzená dvomi kružnicami, ktorých polomery sa líšia o toleranciu T a ich stredy ležia v tom istom bode na základnej osi. Obrys skutočnej plochy tolerovaného prvku musí byť v každom reze kolmom na základňu (os hádzania) vnútri tolerančnej oblasti. Platí tu pravidlo nezávislosti, to znamená, že v každej rezovej rovine na dĺžke l môžu byť polomery kružníc ohraničujúcich tolerančnú oblasť rôzne. Nutné je dodržať len šírku tolerancie T . Rovnako dôležité je správne definovať základnú os. Základňa A na *obr. 7.30a* definuje os, ktorá je strednou osou geometrického útvaru napravo. Výber základne závisí od požadovaných vlastností konkrétneho výrobku.

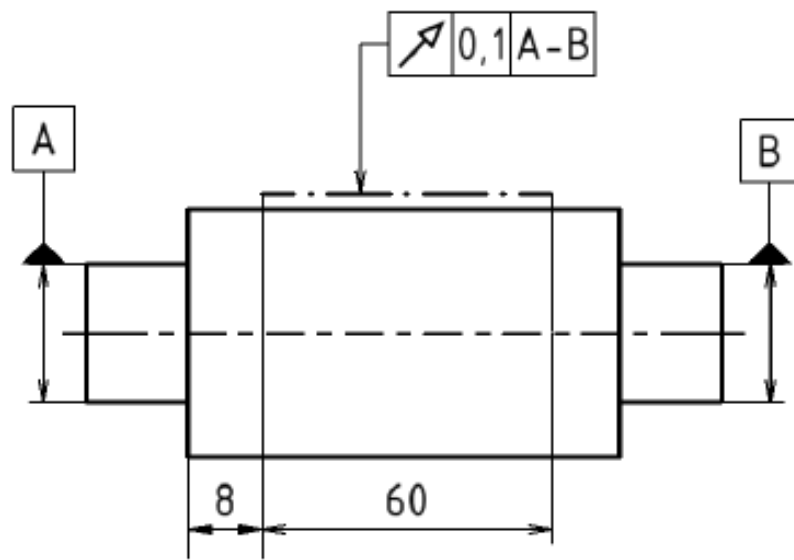


a) predpis na výkrese

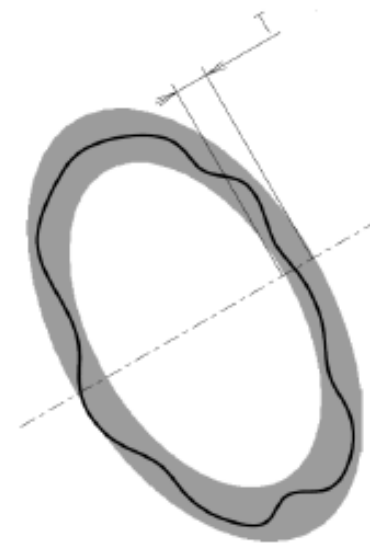


b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.30 Kruhové hádzanie v radiálnom smere

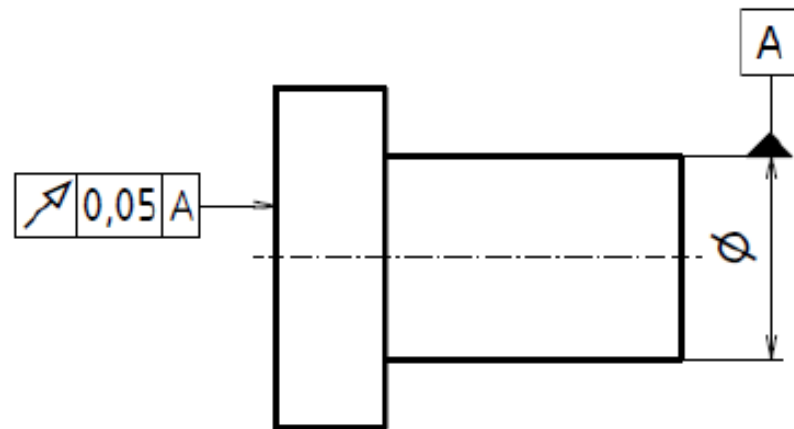


a) predpis na výkrese

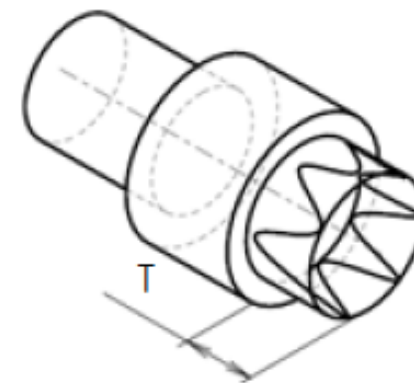


b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.31 Kruhové hádzanie v radiálnom smere nad ohraničenou časťou



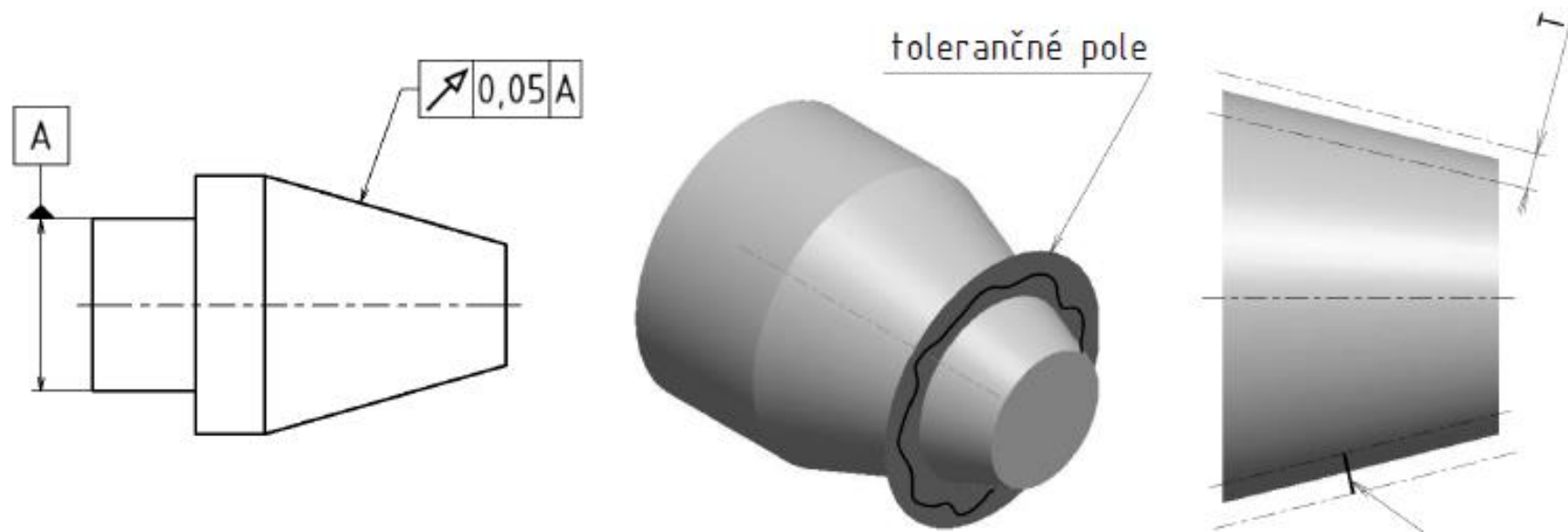
a) predpis na výkrese



b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.32 Kruhové hádzanie v axiálnom smere

- Pre predpis *kruhového hádzania v ľubovoľnom smere* platia rovnaké pravidlá ako bolo uvedené vyššie (obr. 7. 33).



a) predpis na výkrese

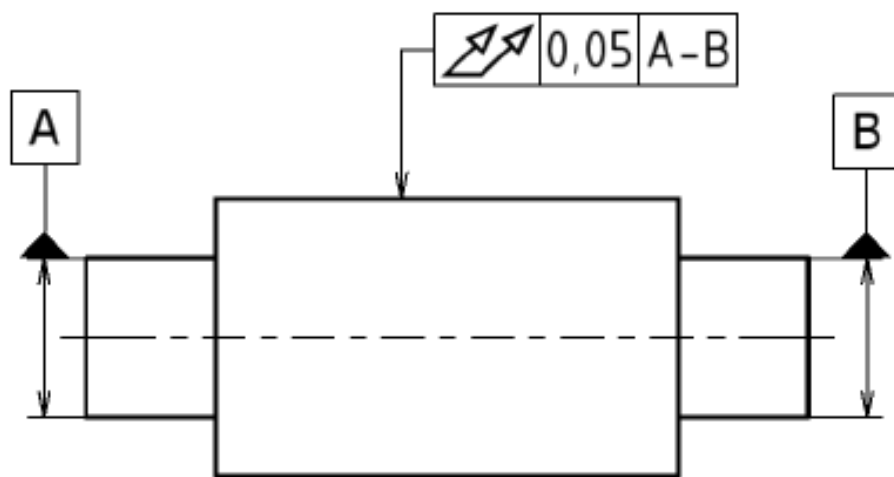
b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.33 Kruhové hádzanie v ľubovoľnom smere

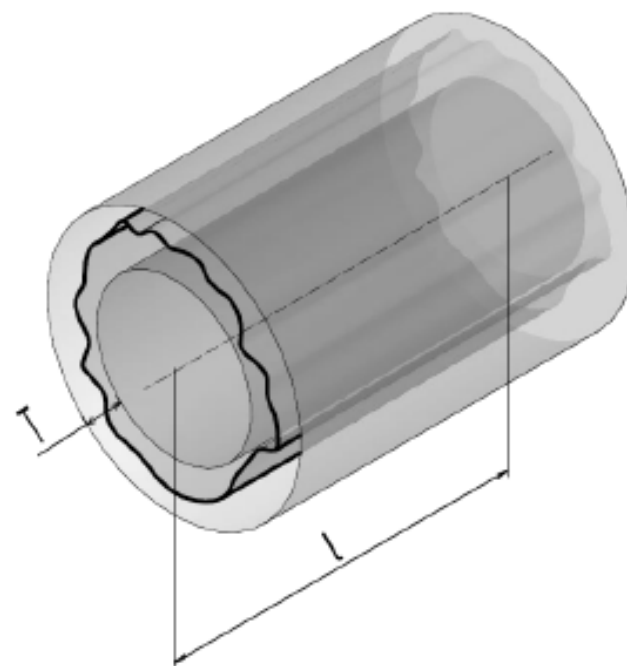
7.7.2 CELKOVÉ HÁDZANIE

Merania kruhového hádzania v rôznych rezoch tolerovanej plochy sú navzájom nezávislé. To znamená, že pri zoraďovaní prístroja na meranie v rôznych rezoch nie je určený rovnaký východiskový (nulový) bod. Dodržaný musí byť len smer merania a predpísaná hodnota tolerancie T . Dôsledkom tejto nezávislosti je možnosť vzniku výrazných odchýlok povrchu skutočného obrobku od jeho teoreticky presného geometrického tvaru. Pri predpise celkového hádzania je poloha tolerančných oblastí v jednotlivých rezoch (miestach merania) rovnaká. Pri nastavovaní prístroja na meranie *celkového hádzania* v rôznych rezoch vychádzame z *toho istého počiatočného (nulového) bodu*.

- Na *obrázku 7.34* je príklad predpisu *tolerancie celkového hádzania v radiálnom smere*. V tomto prípade smer merania je kolmý na základňu A-B a platí pre celú plochu tolerovaného prvku. Tolerančná oblasť (*obr. 7.34b*) je vymedzená dvoma súosovými valcami, ktorých osi sú zhodné so všeobecnou základňou tvorenou priamkou A-B a ich polomery sa líšia o hodnotu tolerancie $T = 0,05\text{mm}$. Všetky body skutočného povrchu tolerovaného prvku obrobku sa musia nachádzať v tejto tolerančnej oblasti.

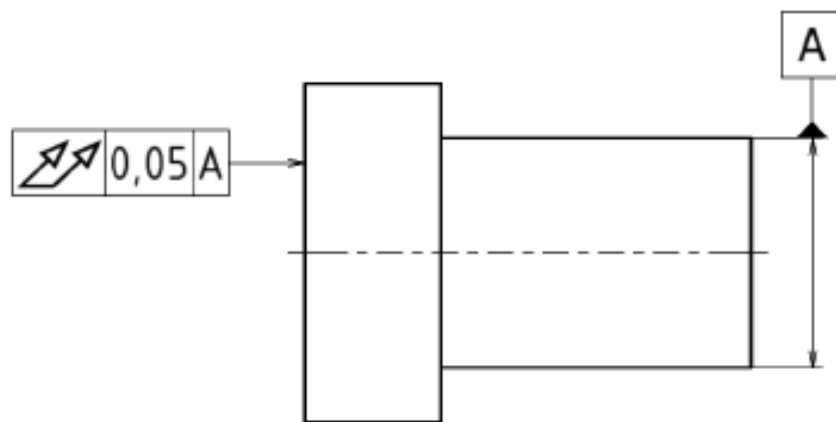


a) predpis na výkrese

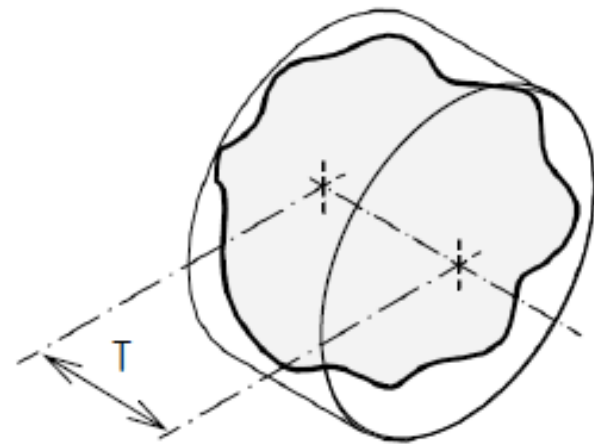


b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.34 Celkové hádzanie v radiálnom smere



a) predpis na výkrese



b) tolerančná oblasť

Obrázok 7.35 Celkové hádzanie v axiálnom smere

- Príklad na *obrázku 7.35* je predpisom *tolerancie celkového hádzania v axiálnom smere*. Na rozdiel od predpisu tolerancie kruhového hádzania musí byť umiestnenie tolerančných oblastí v jednotlivých rezoch valca pozdĺž osi rotácie rovnaké. Tolerančná oblasť tolerovaného prvku je definovaná dvomi rovnobežnými rovinami kolmými na základnú os hádzania A vzdialenými od seba o hodnotu tolerancie $T = 0,05\text{mm}$. Všetky body skutočného povrchu čelnej plochy tolerovaného prvku obrobku sa musia nachádzať v tejto tolerančnej oblasti.

7.8 ZÁKLADNÉ PRAVIDLÁ TOLEROVANIA

V procese navrhovania je na základe funkcie súčiastky určený jej ideálny tvar a medzné hodnoty jej rozmerov. Ďalej je definovaný postup výroby a hodnotenie kvality. V procese výroby a montáže vznikajú na súčiastkach rôzne odchýlky ovplyvnené voľbou stroja, technologického procesu, nástroja atď. Úspešné zvládnutie plnenia funkcie súčiastky je podmienené vhodnou kombináciou tolerancií dĺžkových rozmerov a geometrických tolerancií a ich vzájomného vzťahu pre výrobu a kontrolu súčiastok v technickej dokumentácii.

Základné vzťahy medzi toleranciami rozmerov (dĺžok a uhlov) a geometrickými toleranciami sú definované v normách:

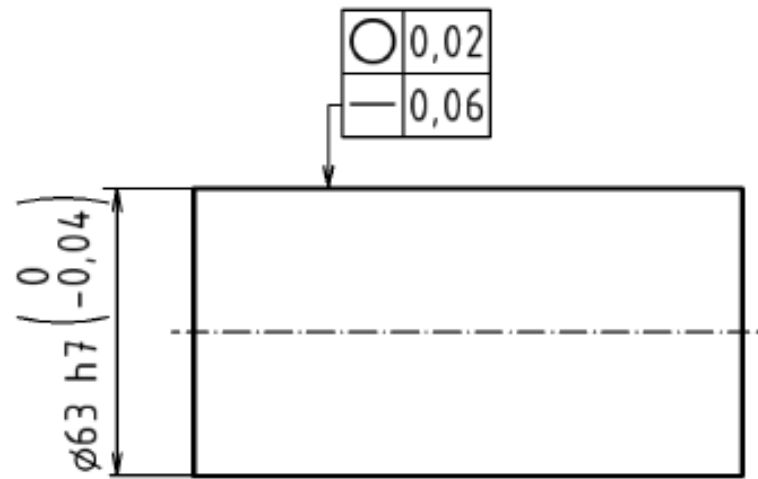
- ISO 8015: 1985 (STN ISO 8015: 1995) „*Technické výkresy. Základné pravidlo tolerovania*“.
- ISO 2692: 2006 (STN EN ISO 2692: 2007) „*Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Geometrické tolerovanie. Požiadavka maxima (MMR) a minima materiálu (LMR) a recipročné požiadavky (RPR)*“.
- ISO 10578: 1992 (STN ISO 10578: 1998) „*Technické výkresy. Tolerovanie smeru a polohy. Posunuté tolerančné pole*“.

7.8.1 PRAVIDLO NEZÁVISLOSTI

Základné pravidlo tolerovania sa vzťahuje na údaje v technických výkresoch a príslušnej dokumentácii určujúce štyri vlastnosti každého prvku súčiastky: veľkosť, tvar, smer a vzájomná poloha prvkov súčiastky, t.j. na:

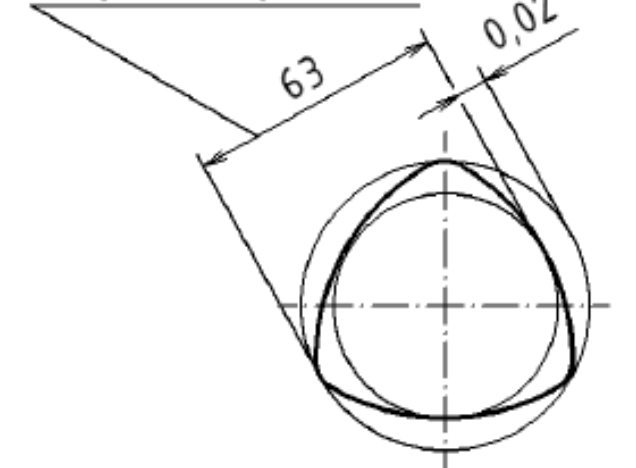
- Dĺžkové rozmery s medznými odchýlkami,
- Uhlové rozmery s medznými odchýlkami,
- Geometrické tolerancie.

Základným pravidlom tolerovania je *pravidlo nezávislosti*. Podľa tohto pravidla musí byť každý z vyššie uvedených parametrov posudzovaný nezávisle, pokiaľ nie je vzájomný vzťah na výkrese predpísaný inak. Medzné odchýlky dĺžkových rozmerov určujú len skutočné miestne rozmery prvku a nie odchýlky jeho tvaru. Odchýlky tvaru musia byť určené jednotlivo predpísaním tolerancií tvaru alebo všeobecnými geometrickými toleranciami. Geometrické tolerancie určujú odchýlku prvku od jeho tvaru alebo smeru alebo polohy a to teoreticky presných, nezávisle od skutočných miestnych rozmerov prvkov. Obvykle sa pravidlo nezávislosti používa pre útvary, ktoré nebudú lícované. Napríklad hriadeľ na *obr. 7.36*, ktorého všetky prierezy sú na maxime materiálu – 63,00 mm, môže byť ešte aj hranolovitý v medziach tolerancie kruhovitosti a súčasne prehnutý v medziach tolerancie priamosti.

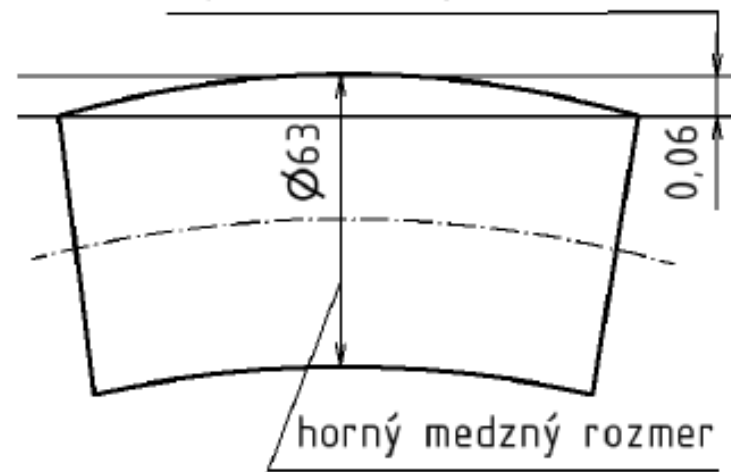


a) predpis na výkrese

najväčšia odchýlka kruhovitosti
horný medzný rozmer



najväčšia odchýlka priamosti



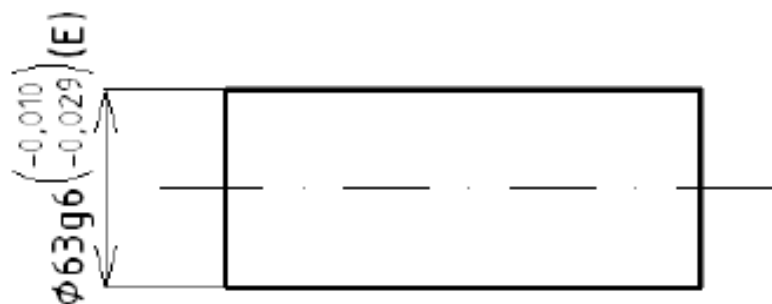
b) vysvetlenie

Obrázok 7.36 Základné pravidlo tolerovania – nezávislosť tolerancií rozmerov a geometrie

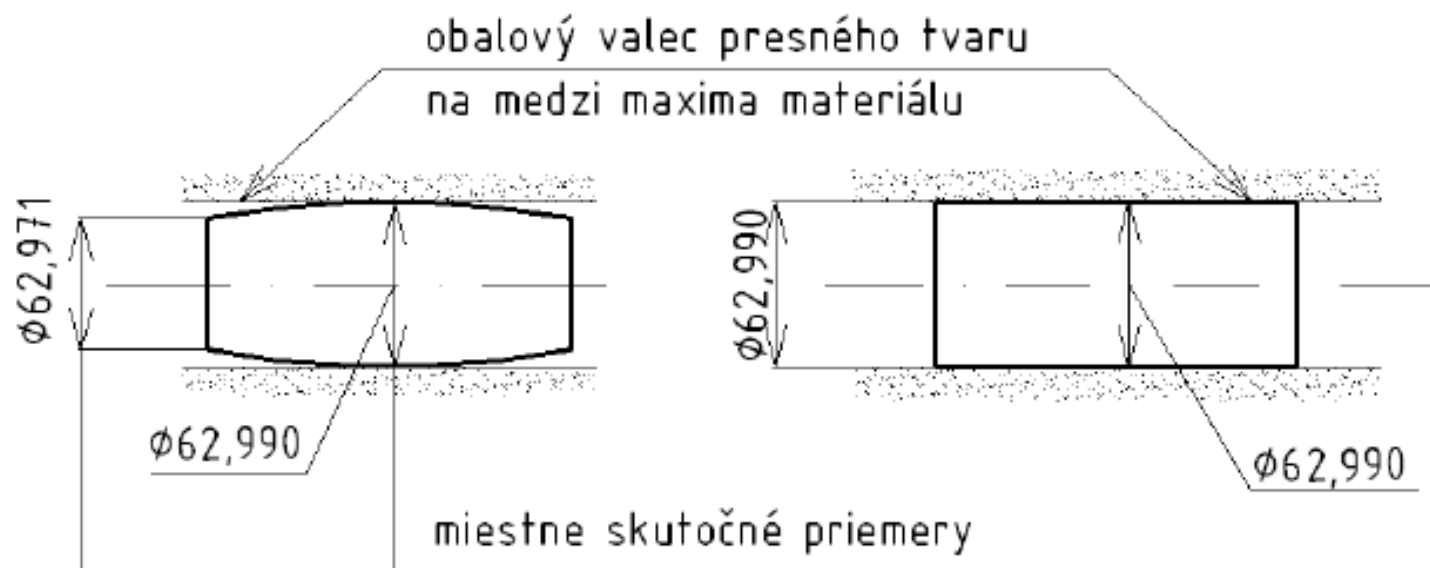
7.8.2 POŽIADAVKA OBALOVEJ PLOCHY

Požiadavka obalovej plochy sa obvykle používa pre lícované útvary. Požiadavka určuje, že skutočný útvar (napr. valcový prvok alebo prvok ohraničený dvoma rovnobežnými rovinami) nesmie prekročiť obálku geometricky ideálneho tvaru s rozmerom na maxime materiálu. Požiadavka obalovej plochy pre výrobu znamená, že predpisované tolerancie na strane maxima materiálu budú zúžené o odchýlku tvaru.

Na výkrese sa podmienka obalovej plochy predpisuje značkou \textcircled{E} , umiestnenou za tolerančnou značkou dĺžkového rozmeru. Pre valcový prvok na *obrázku 7.37* platí, že jeho skutočný povrch musí ležať vnútri obalovej plochy správneho geometrického tvaru s rozmerom na maxime, t.j. $\text{Ø}63,010$ a žiadny miestny rozmer nesmie byť menší ako $\text{Ø}62,971$.



a) predpis na výkrese



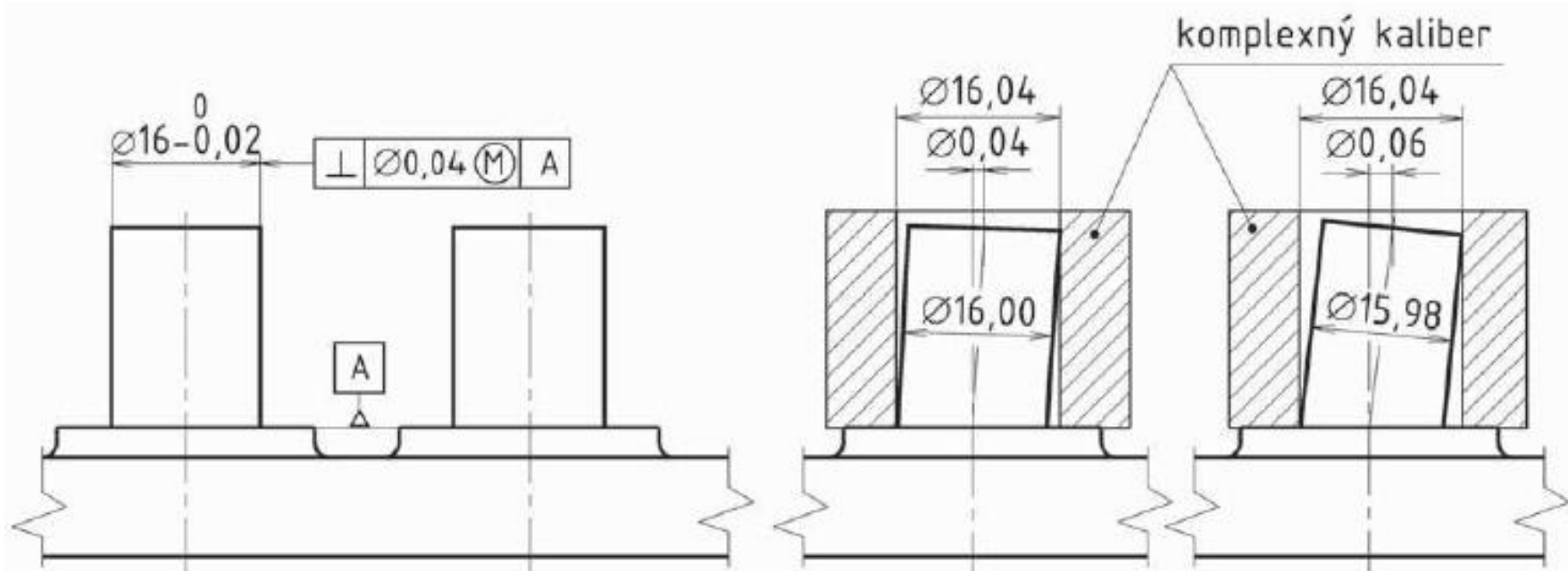
b) vysvetlenie

Obrázok 7.37 Podmienka obalovej plochy

7.8.3 POŽIADAVKA MAXIMA MATERIÁLU

Ak je z funkčných a ekonomických dôvodov požadovaná vzájomná závislosť rozmerov a smeru alebo polohy prvkov, je možné použiť požiadavku maxima materiálu. Použitie tejto požiadavky vedie k významnému uľahčeniu výroby, a to bez zníženia úrovne zameniteľnosti.

Na *obrázku 7.38* značka **(M)** znamená, že geometricky ideálnu obálku rozmeru maxima materiálu neprekročí skutočná odchýlka tvaru alebo smeru a polohy. Tolerancia udávaná na výkrese bude preto na strane maxima materiálu o predpokladanú odchýlku tvaru alebo smeru a polohy zúžená. Ak tolerancia rozmeru nie je využitá celá, tolerancia tvaru môže vzrásť o zostatkovú hodnotu. V danom príklade skutočný povrch tolerovaných čapov nesmie prekročiť podmienku maxima materiálu $\varnothing 16,04$ a súčasne skutočný priemer tolerovaných čapov nesmie byť v žiadnom mieste väčší ako predpísaný horný medzný rozmer $\varnothing 16,00$ a menší ako dolný medzný rozmer $\varnothing 15,98$.



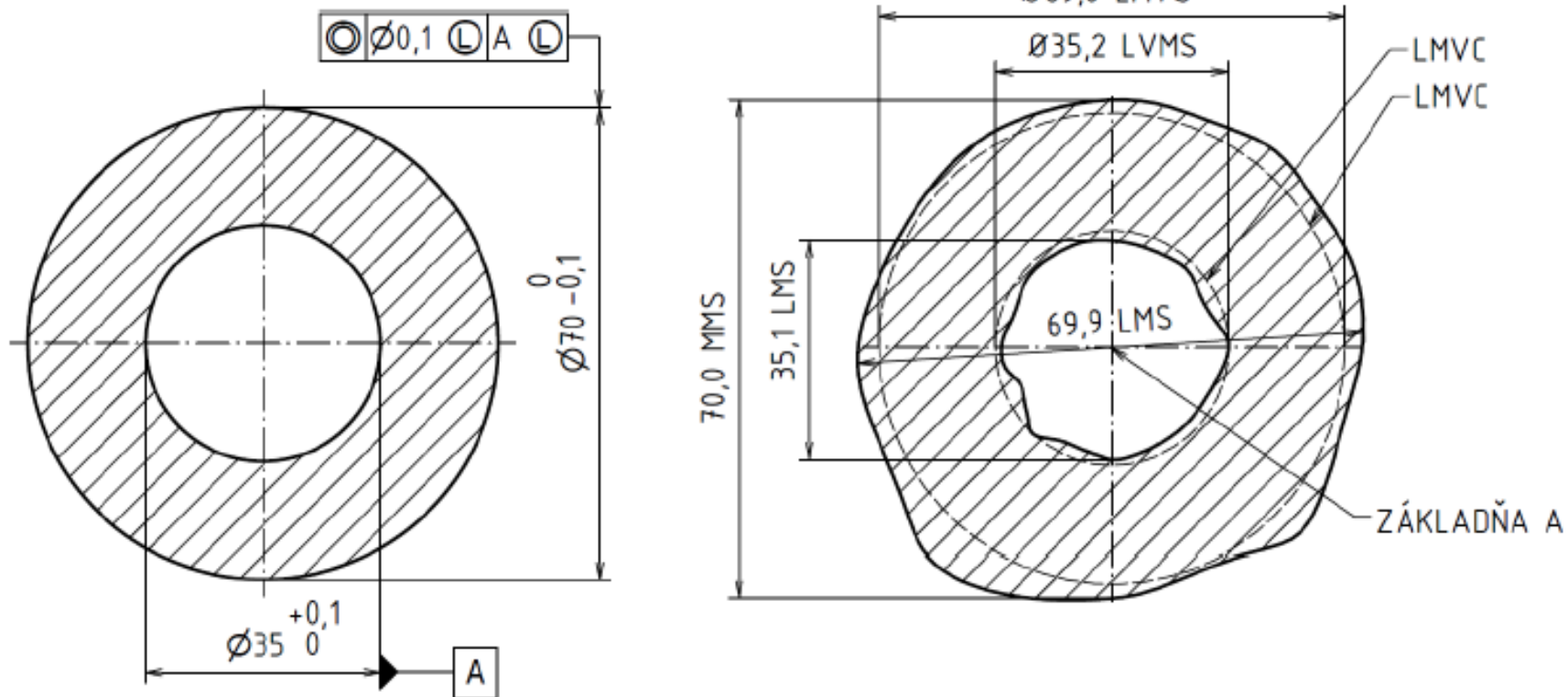
a) predpis na výkrese

b) vysvetlenie

Obrázok 7.38 Predpis podmienky maxima materiálu

7.8.4 POŽIADAVKA MINIMA MATERIÁLU

Na *obrázku 7.39* ide o príklad požiadavky minima materiálu na vonkajší valcový geometrický prvok (značka \textcircled{L}) umiestnená v tolerančnom rámečku za hodnotou geometrickej odchýlky) s požiadavkou na polohu (súosovosť) vzhľadom na vnútorný valcový geometrický prvok definovaný ako základňa A s požiadavkou na rozmer a tiež s požiadavkou minima materiálu (značka \textcircled{L}) umiestnená v tolerančnom rámečku za označením základne). Tolerovanie má zabezpečiť minimálnu hrúbku steny a zabrániť poškodeniu súčiastky pre prípad jej namáhania vnútorným pretlakom. Podľa predpisu na výkrese skutočný rozmer vonkajšej valcovej plochy musí byť v každom mieste menší alebo rovný $\varnothing 70$ a väčší alebo rovný $\varnothing 69.9$. Miestny priemer skutočného povrchu vnútornej valcovej plochy musí byť v hraniciach $\varnothing 35$ a $\varnothing 35,1$. Virtuálna podmienka minima materiálu vonkajšieho geometrického prvku ($\varnothing 69.8$) a tiež vnútorného geometrického prvku ($\varnothing 35,2$) musí byť úplne obsiahnutá vnútri materiálu. Virtuálna podmienka minima materiálu vonkajšej plochy ($\varnothing 69.8$) musí byť v teoreticky presnej polohe vzhľadom na os virtuálnej podmienky minima vnútornej valcovej plochy.



a) predpis na výkrese

b) vysvetlenie

Obrázok 7.39 Predpis podmienky minima materiálu

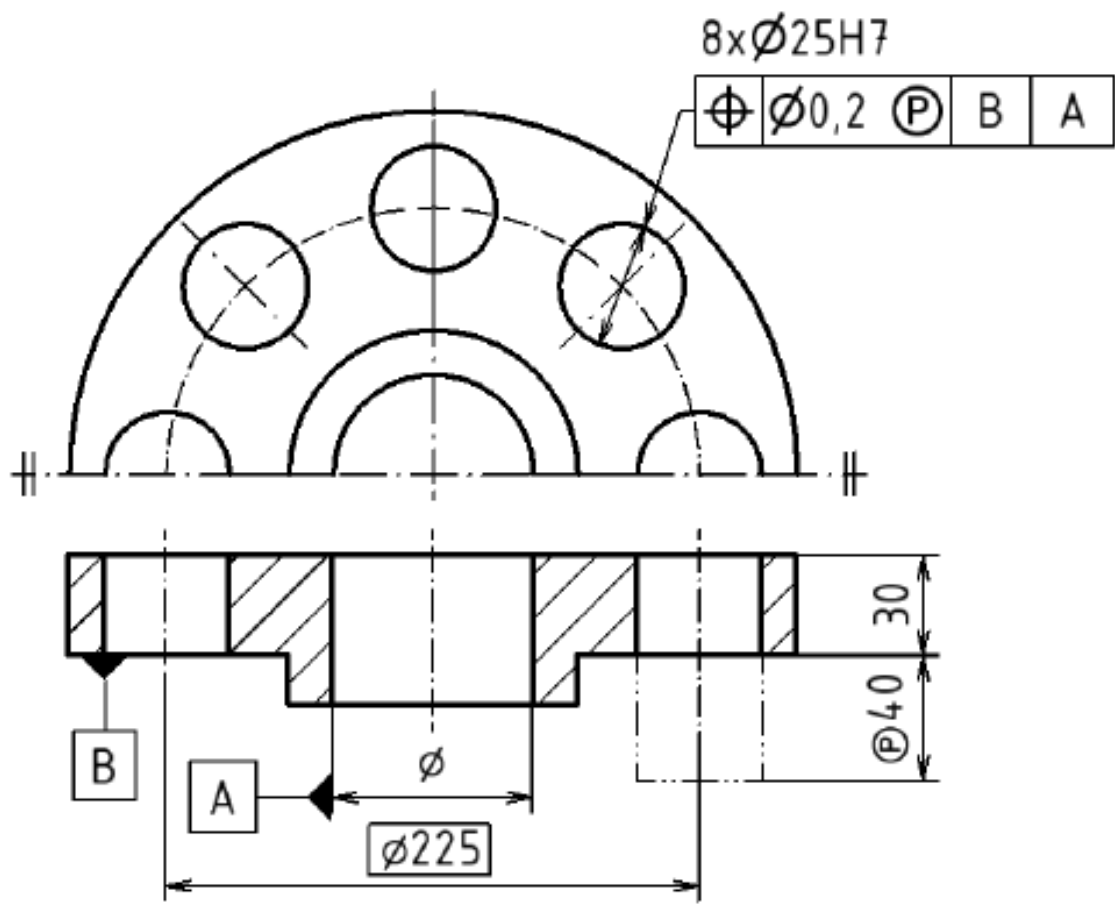
7.8.5 POŽIADAVKA RECIPROITY

Požiadavka reciproity sa na výkresoch uvádza ako doplnková požiadavka k požiadavke maxima alebo k požiadavke minima materiálu. Označuje sa značkou \textcircled{R} , ktorá je umiestnená v tolerančnom rámečku za značkou \textcircled{M} , resp. \textcircled{L} . Aplikuje sa len na tolerovaný prvok. Mení toleranciu rozmeru rozmerového prvku a umožňuje zvoliť najvýhodnejšie rozdelenie celkovej tolerancie uloženia medzi rozmerové a geometrické tolerancie vyplývajúce z výrobných možností.

7.8.6 POSUNUTÉ TOLERANČNÉ POLE

Tolerancie polohy (umiestnenie, súosovosť, súmernosť) pre niektoré funkčné prípady nepostačujú. Posunuté tolerančné pole definuje tieto požiadavky jasnejšie. Predpísaná tolerančná oblasť pre tolerovaný útvar je premietnutá do smeru lícovaného protikusu.

Prvok s posunutou tolerančnou oblasťou je na výkrese zobrazený čiarou 04.1 (tenká bodko-čiarkovaná čiara) a označený značkou \textcircled{P} pred kótou, ktorá určuje rozmer posunutia. Označenie \textcircled{P} sa uvedie aj v tolerančnom rámečku za hodnotu geometrickej tolerancie. V príklade na *obrázku 7.40* má na toleranciu umiestnenia pre základný otvor vplyv aj tolerancia kolmosti. Aby sa zabezpečilo správne umiestnenie osi, výroba musí zúžiť stanovenú toleranciu umiestnenia o predpokladanú toleranciu kolmosti.



Obrázok 7.40 Predpis požiadavky posunutého tolerančného poľa na výkrese

7.9 VŠEOBECNÉ GEOMETRICKÉ TOLERANCIE

Všeobecné geometrické tolerancie stanovuje norma ISO 2768-2: 1989 (STN ISO 2768-2: 1992) „*Všeobecné tolerancie. Nepredpísané geometrické tolerancie*“. Norma uvádza 3 triedy presnosti všeobecných geometrických tolerancií, ktoré je možné predpísať spoločným zápisom pre tie prvky, ktoré ich nemajú predpísané individuálne. Triedy presnosti sa označujú písmenami veľkej abecedy: *najpresnejšia H, stredná K, hrubá L*. Ak sú pre niektoré prvky vhodnejšie väčšie geometrické tolerancie, ako uvádzajú tabuľky nepredpísaných tolerancií, musia sa predpísať individuálne, tak isto ako tolerancie presnejšie (ISO 1101).

7.9.1 TOLERANCIE OSAMELÝCH PRVKOV

- **priamosť a rovinnosť**

Všeobecné tolerancie priamosti sú v *tabuľke 7.6*. Veľkosť tolerancie sa volí pri priamosti v závislosti na dĺžke príslušnej priamky, pri rovinnosti v závislosti na dĺžke dlhšej strany plochy alebo na priemere kruhovej plochy.

- **kruhovitosť**

Všeobecná tolerancia kruhovitosti je rovná číselnej hodnote tolerancie priemeru, ale v žiadnom prípade nesmie byť väčšia, ako príslušná hodnota tolerancie kruhového obvodového hádzania.

- **valcovitosť**

Všeobecné tolerancie valcovitosti nie sú stanovené (odchýlka valcovitosti zahrňuje 3 zložky: odchýlku kruhovitosti, odchýlku priamosti a odchýlku rovnobežnosti protiľahlých tvoriacich čiar. Každá z týchto zložiek je kontrolovaná svojou samostatne predpísanou alebo všeobecnou toleranciou).

Tabuľka 7.3 Všeobecné tolerancie priamosti a rovinnosti, rozmery v mm

Trieda presnosti	Tolerancia priamosti a rovinnosti pre rozsah menovitých rozmerov					
	do 10	cez 10 do 30	cez 30 do 100	cez 100 do 300	cez 300 do 1000	cez 1000 do 3000
H	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
K	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
L	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6

7.9.2 TOLERANCIE ZDUŽENÝCH PRVKOV

- **rovnobežnosť**

Všeobecná tolerancia rovnobežnosti je rovná číselnej hodnote tolerancie rozmeru, alebo tolerancie priamosti / rovinnosti, podľa toho, ktorá z nich je väčšia. Dlhší z obidvoch prvkov sa považuje za základňu, ak majú prvky rovnakú menovitú dĺžku, môže byť za základňu považovaný ktorýkoľvek z nich.

- **kolmosť**

Všeobecné hodnoty tolerancie kolmosti sú uvedené v *tabuľke 7.4* Za základňu sa považuje dlhšia z oboch strán tvoriacich pravý uhol, ak majú strany rovnakú menovitú dĺžku, môže byť za základňu považovaná ktorákoľvek z nich.

Tabuľka 7.4 Všeobecné tolerancie kolmosti, rozmery v mm

Trieda presnosti	Tolerancia kolmosti pre rozsah menovitých dĺžok kratšej strany			
	do 100	cez 100 do 300	cez 300 do 1000	cez 1000 do 3000
H	0,2	0,3	0,4	0,5
K	0,4	0,6	0,8	1
L	0,6	1	1,5	2

- **súmernosť**

Všeobecné tolerancie súmernosti sú v *tabuľke 7.5*. Dlhší z obidvoch súmerných prvkov sa považuje za základňu. Všeobecné tolerancie súmernosti platia tam, kde aspoň jeden z prvkov má rovinu súmernosti, alebo osi oboch prvkov sú navzájom kolmé.

Tabuľka 7.5 Všeobecné tolerancie súmernosti, rozmery v mm

Trieda presnosti	Tolerancie súmernosti pre rozsah menovitých dĺžok			
	do 100	cez 100 do 300	cez 300 do 1000	cez 1000 do 3000
H	0,5			
K	0,6		0,8	1
L	0,6	1	1,5	2

- **súosovosť**

Všeobecné tolerancie súosovosti nie sú stanovené. Odchýlka súosovosti môže byť v krajnom prípade taká veľká ako hodnota kruhového obvodového hádzania uvedená v *tabuľke 7.14*, pretože odchýlka obvodového hádzania zahrňuje odchýlku súosovosti a odchýlku kruhovitosti.

- **kruhové hádzanie**

Všeobecné tolerancie kruhového hádzania (v radiálnom, axiálnom a v ťubovoľnom smere) sú uvedené v *tabuľke 7.6*, bez ohľadu na priemer. Za základňu sa považujú plochy pre ložiská, alebo diery pre uloženie na hriadeľi.

Tabuľka 7.6 Všeobecné tolerancie kruhového hádzania, rozmery v mm

Trieda presnosti	Tolerancia kruhového hádzania
H	0,1
K	0,2
L	0,5

7.9.3 PREDPISOVANIE NA VÝKRESOCH

Výkresy, na ktoré sa vzťahuje pravidlo nezávislosti, musia byť označené v titulnom bloku alebo v jeho blízkosti tak ako je to uvedené v príklade označenia. Tento predpis musí byť doplnený odkazom na normu pre všeobecné geometrické tolerancie. Označenie sa skladá z čísla normy ISO, zo značky triedy presnosti nepredpísaných medzných odchýlok rozmerov a zo značky triedy presnosti všeobecných geometrických tolerancií.

Príklad označenia:

TOLEROVANIE ISO 8015

ISO 2768 – m K



trieda presnosti geometrických tolerancií

trieda presnosti dĺžkových a uhlových rozmerov

V nasledujúcich tabuľkách sú uvedené číselné hodnoty rozsahu geometrických tolerancií.

7.10 GEOMETRICKÉ TOLERANCIE - ČÍSELNÉ HODNOTY

Tolerancie tvaru

Tabuľka 7.7 Tolerancie rovinnosti a priamosti

Rozsahy menovitých rozmerov		Stupeň presnosti															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
cez	do	μm												mm			
	10	0,25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	0,06	0,1	0,16	0,25
10	16	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	0,08	0,12	0,2	0,3
16	25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	0,1	0,16	0,25	0,4
25	40	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
40	63	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
63	100	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
100	160	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
160	250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
250	400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
400	630	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2
630	1000	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5
1000	1600	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	0,8	1,2	2	3
1600	2500	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1	1,6	2,5	4
2500	4000	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1,2	2	3	5
4000	6300	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1,6	2,5	4	6
6300	10000	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200	2	3	5	8

Tabuľka 7.8 Tolerancie kruhovitosti a valcovitosti

Rozsahy menovitých rozmerov		Stupeň presnosti															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
cez	do	µm												mm			
	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	0,08	0,12	0,2	0,3
3	10	0,6	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	0,1	0,16	0,25	0,4
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
18	30	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
30	50	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
50	120	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
120	250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
250	400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
400	630	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2
630	1000	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5
1000	1600	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	0,8	1,2	2	3
1600	2500	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1	1,6	2,5	4

Menovitým rozmerom sa rozumie menovitý priemer plochy.

Tolerancie smeru a hádzania

Tabuľka 7.9 Tolerancie smeru (rovnobežnosti, kolmosti a sklonu), tolerancia kruhového axiálneho hádzania a celkového axiálneho hádzania

Rozsahy menovitých rozmerov		Stupeň presnosti															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
cez	do	µm												mm			
	10	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	0,1	0,16	0,25	0,4
10	16	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
16	25	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
25	40	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
40	63	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
63	100	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
100	160	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
160	250	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2
250	400	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5
400	630	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	0,8	1,2	2	3
630	1000	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1	1,6	2,5	4
1000	1600	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1,2	2	3	5
1600	2500	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1,6	2,5	4	6
2500	4000	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200	2	3	5	8
4000	6300	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2,5	4	6	10
6300	10000	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200	2000	3	5	8	12

Pre tolerancie rovnobežnosti, kolmosti a sklonu sa za menovitý rozmer počíta menovitá dĺžka vzťažného úseku alebo menovitá dĺžka celej posudzovanej plochy. Pri tolerancii rovnobežnosti – menovitá dĺžka dlhšej strany ak nie je zadán vzťažný úsek.

Pri tolerancii axiálneho hádzania sa za menovitý rozmer považuje menovitý priemer alebo najväčší priemer čelnej plochy. Pri tolerancii úplného axiálneho hádzania sa za menovitý rozmer považuje najväčší priemer posudzovanej čelnej plochy.

Tabuľka 7.10 Tolerancie kruhového radiálneho hádzania a celkového radiálneho hádzania

Tolerancie polohy (súosovosti a súmernosti)

Rozsahy menovitých rozmerov		Stupeň presnosti															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
cez	do	μm												mm			
	3	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
3	10	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
10	18	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
18	30	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
30	50	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2
50	120	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5
120	250	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	0,8	1,2	2	3
250	400	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1	1,6	2,5	4
400	630	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1,2	2	3	5
630	1000	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1,6	2,5	4	6
1000	1600	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200	2	3	5	8
1600	2500	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1600	2,5	4	6	10

Pre tolerancie radiálneho hádzania a úplného radiálneho hádzania sa za menovitý rozmer berie priemer posudzovanej plochy. Pri tolerancii súosovosti a súmernosti sa za menovitý rozmer berie menovitý priemer posudzovanej rotačnej plochy alebo menovitý rozmer medzi plochami tvoriacimi posudzovaný prvok.