

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2341 Strojírenství
Studijní zaměření: Konstrukce průmyslové techniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Užití geometrických tolerancí na výkresech a jejich měření

Autor: **Tomáš Vítovec**
Vedoucí práce: **Ing. Lukáš Bartoň, Ph.D.**

Akademický rok 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš VÍTOVEC**
Osobní číslo: **S13B0024K**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **Konstrukce průmyslové techniky**
Název tématu: **Užití geometrických tolerancí na výkresech a jejich měření**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Zpracování přehledu geometrických tolerancí dle současných platných norem, určení vztahu mezi geometrickými a rozměrovými tolerancemi, zápis geometrických tolerancí s ohledem na jejich měření.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Úvod
2. Přehled geometrických tolerancí
3. Měření a zápis geometrických tolerancí
4. Vztah mezi geometrickými a rozměrovými tolerancemi
5. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT ČSN ISO 5459. Praha: Český normalizační institut, 2012

ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT ČSN EN ISO 1101. Praha: Český normalizační institut, 2006

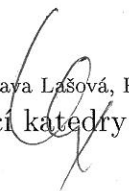
Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Bartoň, Ph.D.**
Regionální technologický institut
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Lukáš Bartoň, Ph.D.**
Regionální technologický institut

Datum zadání bakalářské práce: **23. září 2013**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. června 2014**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Václava Lášová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 23. září 2013

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu této bakalářské práce, kterým byl Ing. Lukáš Bartoň, Ph.D., za jeho trpělivost, odborné rady a připomínky, které mi dopomohly k vypracování této BP.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Vítovec	Jméno Tomáš	
STUDIJNÍ OBOR	2341R001 „Konstrukce průmyslové techniky“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Bartoň, Ph.D.	Jméno Lukáš	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Užití geometrických tolerancí na výkresech a jejich měření		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	64	TEXTOVÁ ČÁST	42	GRAFICKÁ ČÁST	16
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Tato bakalářská práce je rozložena do dvou hlavních částí týkajících se popisované problematiky. První část je zaměřena na objasnění teoretických pojmů a definic pro geometrické tolerování. Druhá část je věnována metodám měření geometrických tolerancí. Cílem této práce bylo zpracování přehledu základních informací o geometrických tolerancích a jejich měření, který může sloužit jako pomůcka pro studenty prvních ročníků strojní fakulty.
KLÍČOVÁ SLOVA	Geometrická tolerance, prvek, základna, toleranční pole, Pravidlo nezávislosti, Závislé tolerance, Všeobecné tolerance, Měření úchylek

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Vítovec	Name Tomáš	
FIELD OF STUDY	2341R001 “ Design of Manufacturing Machines“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Bartoň, Ph.D.	Name Lukáš	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Use of geometric tolerances on drawings and their measuring		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	64	TEXT PART	42	GRAPHICAL PART	16
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This bachelors work is divided to two main parts related to the topic. The first part is focused on the clarification of theoretical concepts and definitions for geometric tolerances. The second part is devoted to methods of measuring geometric tolerances. The aim of this work was to elaborate overview of basic information about geometric tolerances and measurements, which can be used as a guide for first-year students of the Faculty of Mechanical Engineering.
KEY WORDS	Geometric tolerance, element, base, tolerance zone, Independence rules, dependent tolerances, general tolerances, meaurements of deviations

Obsah

Obsah.....	6
Úvod.....	9
1 Úvod do řešené problematiky	11
1.1 Základní pojmy.....	11
1.1.1 Prvek.....	11
1.1.2 Toleranční rámeček	11
1.1.3 Tolerované prvky	12
1.1.4 Toleranční pole.....	13
1.2 Základny a soustavy základen	14
1.2.1 Základna	14
1.2.2 Základní prvek.....	14
1.2.3 Stanovení základen, náhradní základní prvek	14
1.2.4 Předepisování základen	16
1.2.5 Soustava základen	17
1.2.6 Dílčí základny	19
1.3 Volba geometrických tolerancí.....	20
2 Rozdělení geometrických tolerancí	21
2.1 Tolerance tvaru	22
2.1.1 Tolerance přímosti.....	22
2.1.2 Tolerance rovinnosti.....	22
2.1.3 Tolerance kruhovitosti.....	23
2.1.4 Tolerance válcovitosti	23
2.1.5 Tolerance profilu čáry	24
2.1.6 Tolerance profilu plochy	24
2.2 Tolerance směru	25
2.2.1 Tolerance rovnoběžnosti	25
2.2.2 Tolerance kolmosti	26
2.2.3 Tolerance sklonu	28
2.3 Tolerance umístění	29
2.3.1 Tolerance polohy.....	29
2.3.2 Tolerance soustřednosti bodu.....	31
2.3.3 Tolerance sousostnosti bodu	31

2.3.4	Tolerance souměrnosti	31
2.4	Tolerance házení.....	32
2.4.1	Tolerance kruhového házení obvodového.....	32
2.4.2	Tolerance kruhového házení čelního.....	33
2.4.3	Tolerance kruhového házení v libovolném směru	33
2.4.4	Tolerance kruhového házení v daném směru	33
2.4.5	Tolerance celkového obvodového házení	34
2.4.6	Tolerance celkového čelního házení	34
2.5	Pravidlo nezávislosti.....	35
2.6	Požadavky na vzájemnou závislost	36
2.6.1	Podmínka obalové plochy	36
2.6.2	Podmínka maxima nebo minima materiálu.....	36
2.6.3	Podmínka reciprocity	39
2.6.4	Podmínka posunutého tolerančního pole	40
2.6.5	Podmínka volného stavu	41
3	Všeobecné tolerance.....	42
4	Měření geometrických tolerancí.....	46
4.1	Měření úchylek tvaru.....	46
4.1.1	Měření úchylky přímosti	46
4.1.2	Měření úchylky rovinnosti	47
4.1.3	Měření úchylek kruhovitosti	48
4.1.4	Měření úchylek válcovitosti	49
4.2	Měření úchylek směru	50
4.2.1	Měření úchylek rovnoběžnosti	50
4.2.2	Měření úchylek kolmosti.....	51
4.2.3	Měření úchylek sklonu	52
4.3	Měření úchylek umístění	53
4.3.1	Měření úchylek polohy.....	53
4.3.2	Měření úchylek souososti a soustřednosti	54
4.3.3	Měření úchylek souměrnosti	55
4.4	Měření úchylek házení.....	56
4.4.1	Měření úchylek kruhového házení obvodového	56

4.4.2	Měření úchylek kruhového házení čelního	56
4.5	Měření úchylek profilu čáry a profilu plochy.....	57
5	Závěr.....	59
	Seznam použité literatury.....	60
	Seznam obrázků	61
	Seznam tabulek	64
	Seznam příloh.....	64

Úvod

Úvod této práce bude věnován krátkému seznámení se zvoleným tématem a hlavně s několika pojmy či zákonitostmi, které je potřeba zmínit před samotným podrobnějším zabýváním jednotlivými geometrickými tolerancemi.

V důsledku růstu požadavků na přesnost výrobků, které jsou vyráběny z rozličných druhů materiálů, nepřeborných velikostí a geometrií, rostou i nároky související zejména s jejich tolerancemi tvaru a polohy. Plochy, které ohraničují každou z těchto součástí, se dají rozdělit na poměrně jednoduché tvary (plocha rovinná, plocha válcovitá, plocha kulová...) nebo na složitější (plocha evolventní, plocha šroubová...), ale u každé musí být specifikována jak jejich jmenovitá velikost, tak i úchyly pro dodržení jejich tvaru a dalších vlastností v předepsaných tolerancích. Velké odchylky od ideálních rozměrů prvků mohou negativně působit nejen na jednotlivé součásti, ale i na stroj jako celek. Velmi nepříznivý dopad mohou způsobit např. odchylky od kruhovitosti prvků valivých ložisek, které v praxi působí navyšováním opotřebení a hlučností chodu, nebo házení rotujících prvků např. hřídelů má za následek zvýšení chvění strojů a zařízení. Dodržení tolerancí přímosti, rovnoběžnosti, kolmosti nebo sklonu na vodících a upínacích plochách obráběcích strojů je podstatné pro dodržení přesnosti stroje. [1]

Geometrické tolerance jsou jedním z parametrů, které předepisujeme na výkresy při výrobě požadované součásti pro určení přesností geometrických tvarů. Jedná se o dílčí vlastnosti součástí, které vycházejí ze souboru geometrických požadavků na produkt tzv. GPS (Geometrical Product Specifications). [2]

Za jednu ze základních norem geometrických specifikací produktu (GPS) lze považovat ČSN EN ISO 8015 „Geometrické specifikace produktu (GPS) – Základny – Pojmy, principy a pravidla“ vydanou v roce 2012, která ovlivňuje všechny ostatní normy ve všeobecné matici GPS a nahrazuje její předchozí vydání z roku 1994. Tato mezinárodní norma také určuje základní pojmy, principy a pravidla, která jsou platná pro vytváření, výklad či užívání všech dalších mezinárodních norem a jiné technické dokumentace týkající se rozměrových a geometrických specifikací produktu. [12]

Pod pojmem GPS si lze tedy představit v podstatě vše, co souvisí s požadavky na makro i mikro geometrii strojírenských součástí, které jsou nezbytné pro jejich funkci, ale také pro jejich kontrolu a vyhodnocení přijatelnosti. Rozsah GPS je velmi široký a zahrnuje v sobě požadavky na:

- Rozměrové a geometrické tolerance součástí
- Texturu povrchu
- Měřicí zařízení od jednoduchých měřidel, až po souřadnicové měřicí stroje
- Verifikaci měřících zařízení
- Stanovení nejistot měření
- Konkrétní technické údaje aj.

[3]

Některé geometrické tolerance mohou při aplikaci na technickém výkrese nahradit rozměrové tolerance. Pomocí geometrických tolerancí lze dosahovat větších tolerančních polí než při používání pouze běžného tolerování rozměrů, což zapříčiňuje nižší cenu výroby při zachování funkčnosti výrobku. Často se tyto metody tolerování také pozitivně odraží na přehlednosti a čitelnosti výkresové dokumentace. Zásady označování a předepisování tolerancí tvaru, směru, umístění a házení na technických výkresech strojírenských součástí stanovuje ČSN EN ISO 1101:2006 „Geometrické specifikace výrobků (GPS) - Geometrické tolerování - Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení“, ze které se v dalších kapitolách vychází.

1 Úvod do řešené problematiky

1.1 Základní pojmy

Při tolerování geometrických vlastností se jedná hlavně o předepisování vhodných geometrických tolerancí, které se mohou vztahovat k jednomu nebo více prvkům součásti.[2]

1.1.1 Prvek

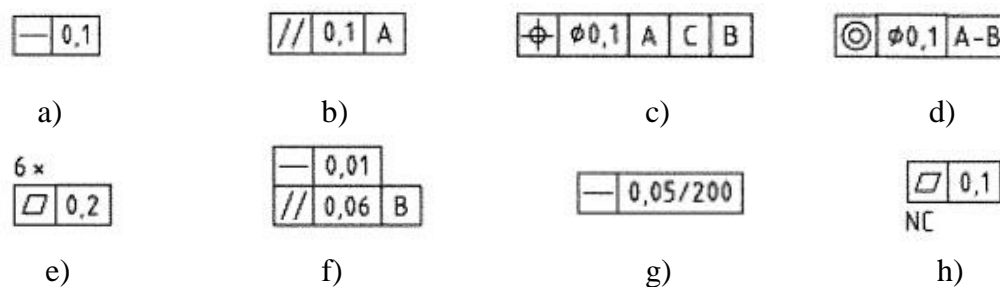
Zobecněný název, kterým můžeme za určitých podmínek rozumět část součásti, jako je bod, čára nebo plocha. Tyto prvky mohou být tzv. prvky úplnými, kdy jsou již plně definovány, (plocha nebo čára na ploše) nebo prvky odvozenými (např. střed, střední čára nebo střední plocha) od jednoho nebo více prvků úplných.[1,4]

1.1.2 Toleranční rámeček

Požadavky na geometrické tolerance jsou vpisovány do pravoúhlých rámečků, které jsou rozděleny do dvou nebo tří polí. Tyto rámečky obsahují značku geometrické tolerance a to vždy v levém (prvním) poli a v druhém poli číselnou hodnotu tolerance v délkových jednotkách (obr. 1 a). Je-li před hodnotou tolerance značka \emptyset , jedná se o toleranční prostor válcový nebo kruhový. V případě kulového tolerančního prostoru je před hodnotou tolerance značka $S\emptyset$. [4]

Kromě zápisu geometrických tolerancí tvaru je toleranční rámeček doplněn ještě o jedno pole, které může být rozdělené do jedné nebo více částí s označením základny (obr. 1b), soustavy základen (obr. 1c), nebo společné základny (obr. 1d). [4]

Při platnosti tolerance pro více než jeden prvek, je nad tolerančním rámečkem předepsána číslice (určující počet prvků) se znaménkem „x“ (obr. 1e). Pokud je potřeba předepsat více než jednu geometrickou charakteristiku jednomu prvku, je možné tyto toleranční rámečky umístit hned pod sebe (obr. 1f). V případě, že je tolerance vztažena na omezenou délku libovolně umístěnou v celém rozsahu prvku, vypíše se tato délka za hodnotu tolerance spolu s oddělením šikmou zlomkovou čarou (obr. 1g). Do blízkosti tolerančního rámečku je ještě možné předepsat kvalifikaci tvaru prvku v tolerančním poli (obr. 1h), které je možné volit z tabulky Tab. 1. [4]



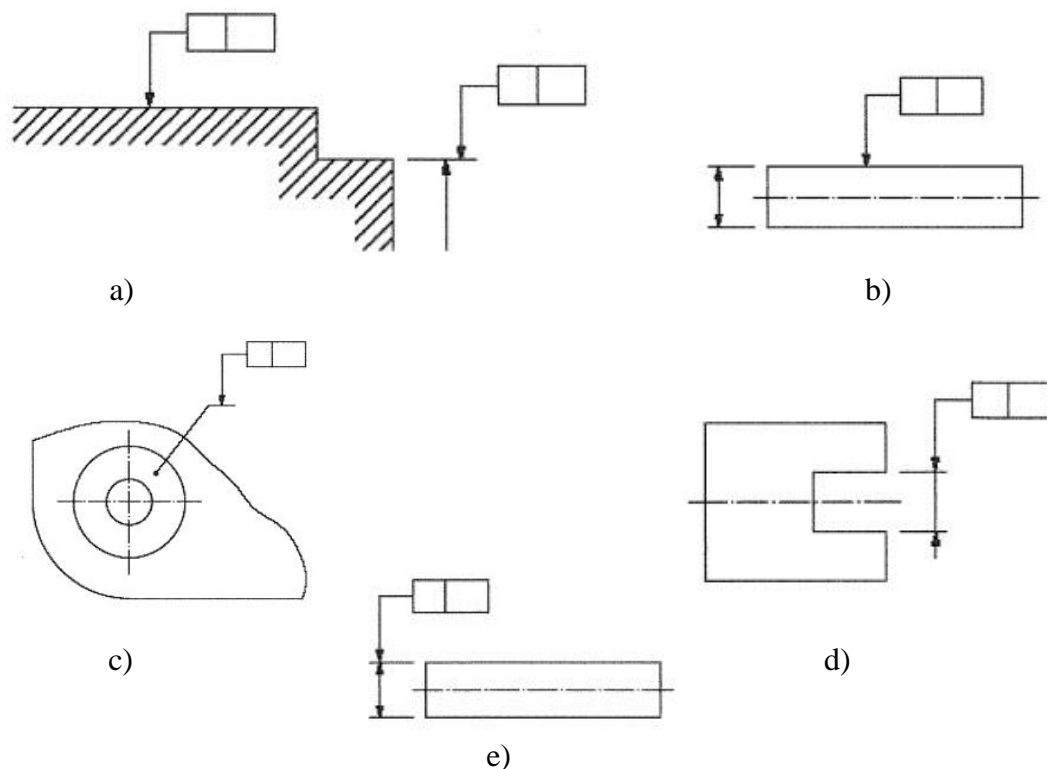
Obr. 1 Toleranční rámečky [4]

Značka	Popis
CZ	Společné toleranční pole
MD	Velký průměr
LD	Malý průměr
PD	Střední průměr
LE	Prvek - čára
NC	Nekonvexní (prvek)
ACS	Všechny řezy

Tab. 1 Přehled kvalifikace tvaru prvku

1.1.3 Tolerované prvky

Spojení tolerančního rámečku s tolerovaným prvkem probíhá odkazovou čarou, která vychází z jedné strany rámečku a u tolerovaného prvku končí šipkou. Tato šipka směřuje vždy kolmo k prvku, ke kterému je vztahena. Pokud je šipka odkazové čáry ukončena na obrysové čáře prvku nebo na prodloužené obrysové čáře, tolerance se vztahuje právě k tomuto povrchu či čáře (obr. 2 a, 2 b). V určitých případech je možné také šipku ukončit na vynášecí čáře, která je zakončena na požadované ploše bodem (obr. 2 c). Je-li šipka odkazové čáry prodloužením kótovací čáry, tolerance se vztahuje ke střední čáře nebo střední ploše takového prvku (obr. 2 d, 2 e). [4]



Obr. 2 Tolerované prvky [4]

1.1.4 Toleranční pole

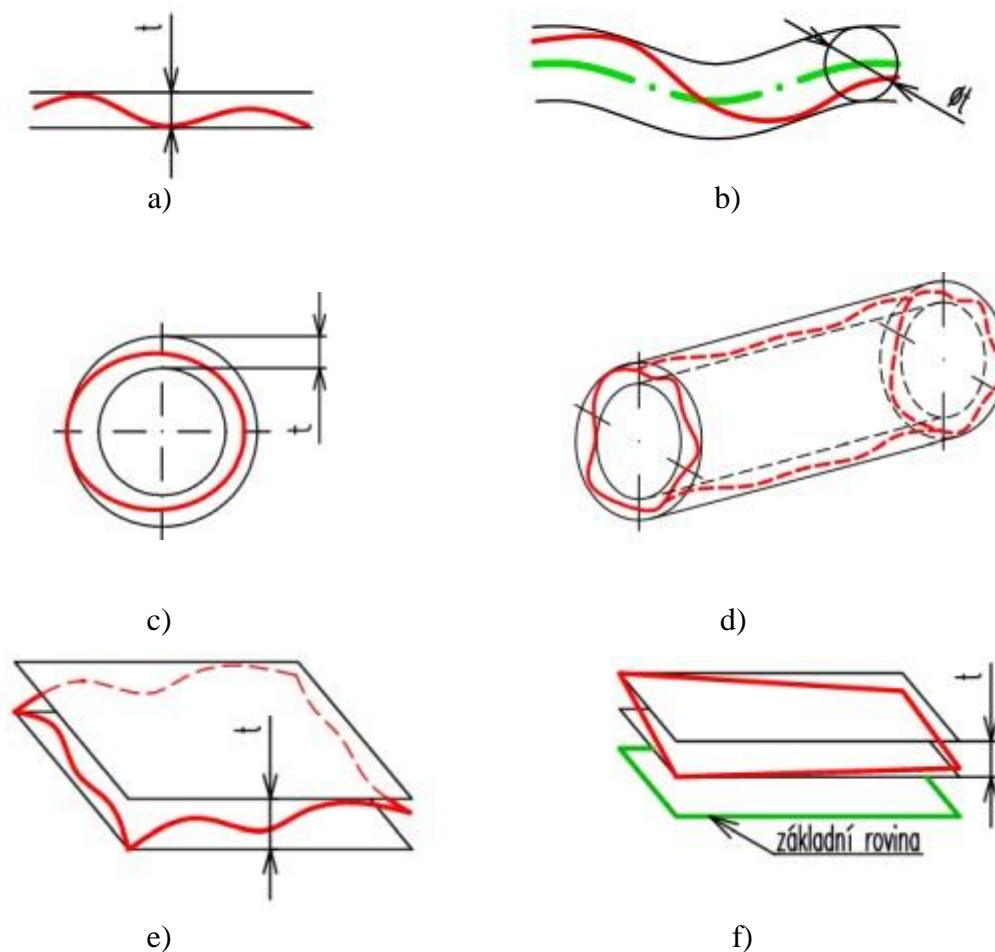
Geometrická tolerance vztažená ke geometrickému prvku nám určuje meze, ve kterých musí takový (skutečný) prvek ležet. Tyto meze mohou být ohraničeny:

- v rovině, kdy se vymezená oblast nazývá tolerančním polem
- v prostoru, kdy je nazývána tolerančním prostorem

Podle prvku a předpisu geometrické tolerance se může jednat o meze tvořené:

- Polem mezi dvěma ekvidistantními čarami nebo dvěma rovnoběžnými přímkami (obr. 3 a, obr. 3 b)
- Mezikružím (obr. 3 c)
- Kruhem
- Válcem
- Prostorem mezi dvěma sousými válci (obr. 3 d)
- Prostorem mezi dvěma ekvidistantními plochami nebo dvěma rovnoběžnými rovinami (obr. 3 e)
- Koulí

[1, 4]



Obr. 3 Příklady tolerančních polí

1.2 Základny a soustavy základen

1.2.1 Základna

U tolerancí tvaru není potřeba určování dalšího prvku (výjimka může nastat u tvaru čáry a plochy), ke kterému by byl tento tvar vztažen. Opakem je ale předepisování vzájemné polohy u dvou či více prvků, kde je třeba stanovit, ke kterému prvku se vzájemná poloha vztahuje. Takový prvek, ke kterému je vztažena geometrická tolerance směru, umístění nebo házení nazýváme základna. Základna je teoreticky přesný geometrický prvek (např. přímka, osa, rovina, bod), ke kterému je vztažen posuzovaný (tolerovaný) prvek. Ke stanovení příslušné základny na tolerované součásti slouží jeden, dva nebo více základních prvků. [2, 5]

1.2.2 Základní prvek

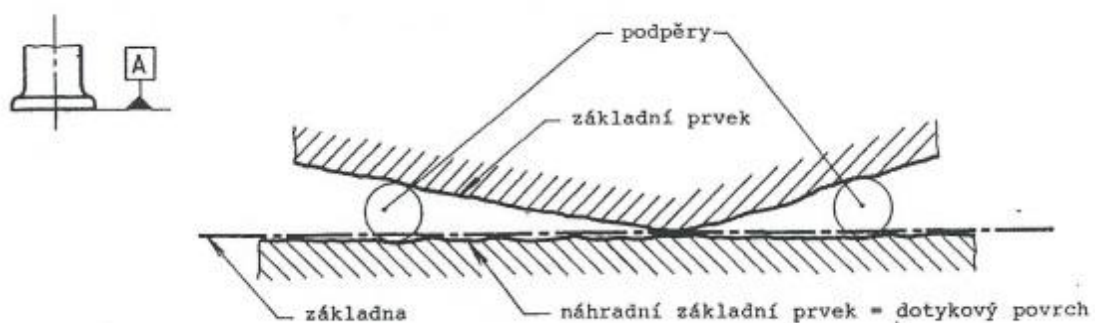
Základním prvkem se rozumí skutečný prvek na součásti (např. plocha, hrana, díra) použitý ke stanovení polohy základny. [5]

1.2.3 Stanovení základen, náhradní základní prvek

Skutečný povrch plochy, označené jako základna, má jisté výrobní nepřesnosti. K samotnému nalezení základen je proto využíváno náhradních základních prvků. Za náhradní prvek považujeme takový prvek, který svým skutečným povrchem odpovídá správnému tvaru (např. prizma, čepy, příměrné desky atd.) a dotýká se základního prvku. [5]

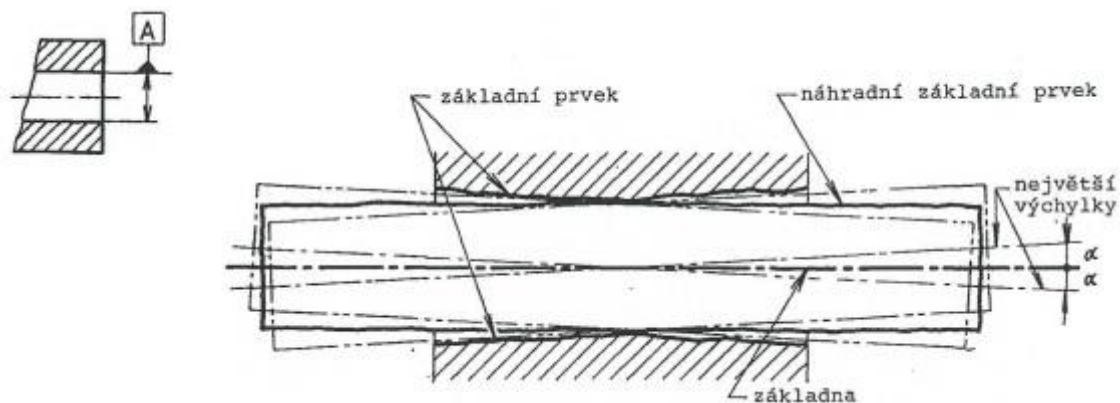
Pro představu jsou příklady realizace základen náhradními základními prvky uvedeny dále.

Při použití přímky či roviny jako základny požadujeme největší vzdálenost mezi základním a náhradním základním prvkem nejmenší možnou hodnotu. Pokud nastane situace, kdy dojde k vzájemnému nepřilehnutí těchto dvou prvků, je možné mezi ně vhodně umístit dvě podpěry (obr. 4). Pro rovinu jako základnu je možné použít tři podpěry.



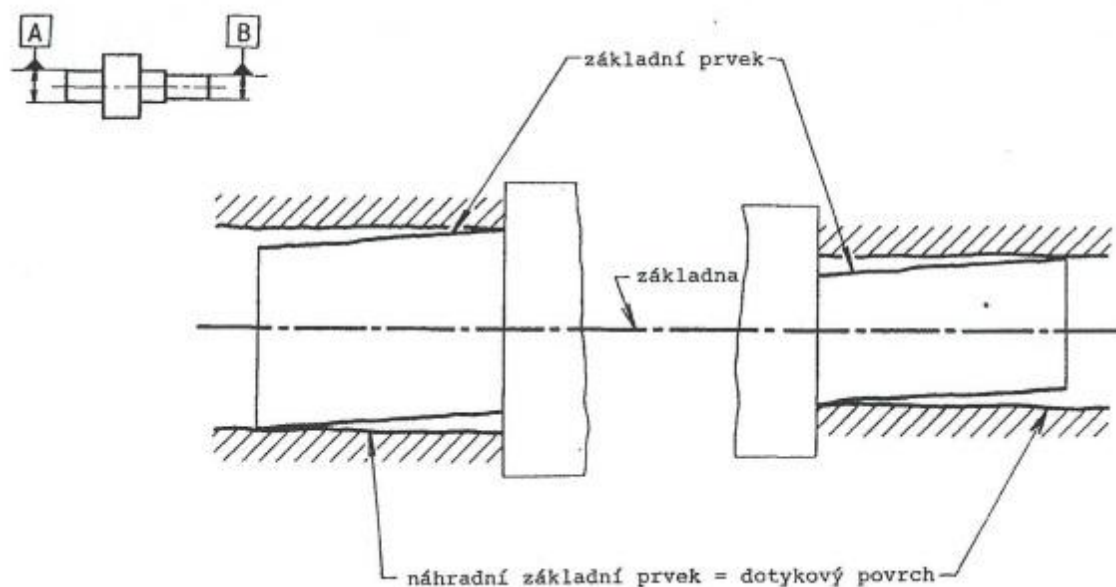
Obr. 4 Realizace základny pomocí náhradního základního prvku s podpěrami [4]

V dalším případě je základna osou největšího možného válce vepsaného díře (náhradní základní prvek) umístěného tak, aby bylo docíleno stejné výchylky α při jakémkoliv vychýlení válce (obr. 5).



Obr. 5 Realizace základny pro osu díry [4]

Pro základnu tvořenou společnou osou je uveden příklad náhradních základních prvků jako dvou nejmenších opsaných sousedních válců (obr. 6).



Obr. 6 Realizace základny pro společnou osu hřídele [4]

Pro součásti s válcovými a kuželovými plochami (hřídele, díry) platí, že jejich základnu tvoří vždy osa.

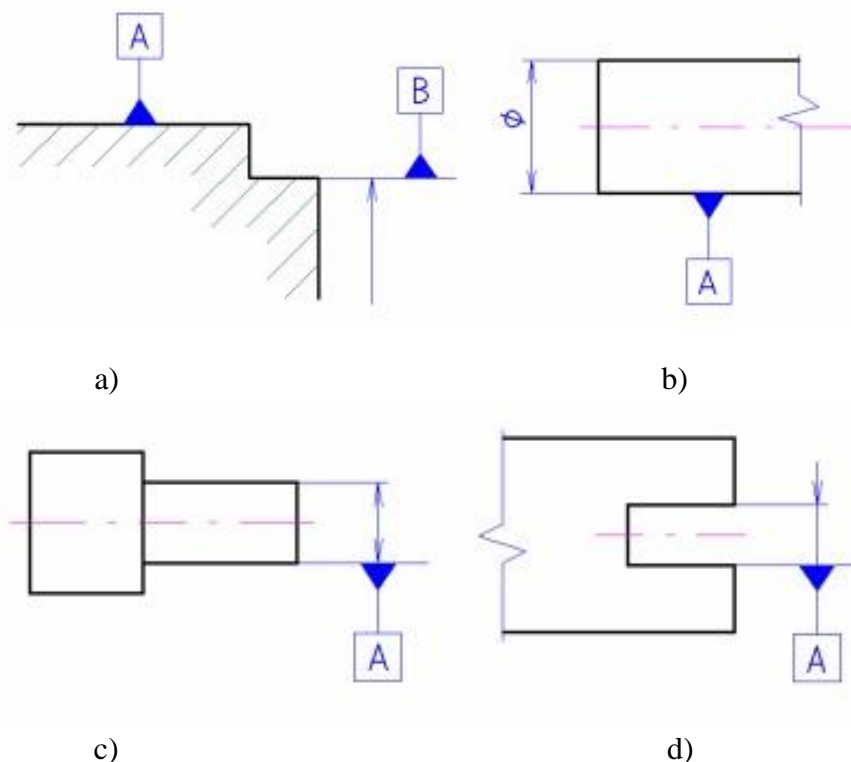
1.2.4 Předepisování základen

Základny se označují písmeny velké abecedy, které jsou vepsány do čtvercového rámečku a odkazovou čarou spojeným se základním trojúhelníkem. Tento vyplněný nebo prázdný trojúhelník je umístěn na základním prvku (obr. 7).



Obr. 7 Označení základen [4]

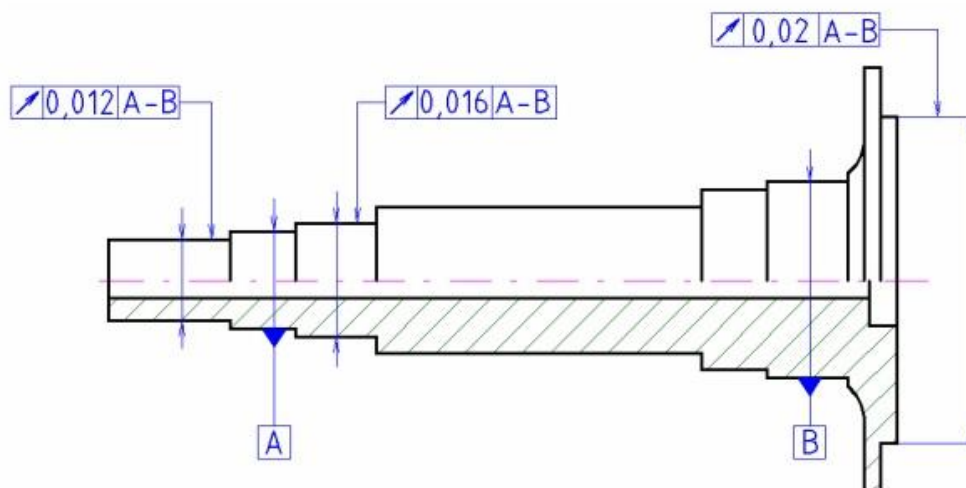
Při umístění trojúhelníku s písmenným označením na obrysovou čáru popřípadě na její prodloužení stanovuje základnu jako příslušnou plochu nebo přímku (obr. 8 a, 8 b). V tomto případě je nutné, aby byl trojúhelníček umístěn v dostatečné vzdálenosti od konce kótovací čáry. Pokud tvoří základnu prvek souměrnosti, je trojúhelník umístěn právě na konec kótovací čáry patřičného prvku (obr. 8 c) nebo může dokonce nahradit přilehlou kótovací šipku (obr. d). [1, 4]



Obr. 8 Příkladů předepisování základen

Základna může být tvořena pouze omezenou částí prvku – vztažný úsek. V tomto případě se tato část omezení označí tlustou čerchovanou čarou s dlouhými čárkami a zakótuje se. Může se také ale předepsat rozměry, které budou určovat jeho plošný rozsah, délku nebo úhel výseče. Trojúhelník s označením základny může být také umístěn na odkazové čáře, která směřuje k bodu na určité plochu. [4, 9]

Společná základna, jak již bylo popsáno výše, je zapisována do třetího pole tolerančního rámečku dvěma písmeny oddělenými spojovníkem. Na příkladu níže je uvedena jako základna společná osa dvou úložných ploch hřídele pro ložiska (obr. 9). [5]



Obr. 9 Příklad užití společné základny pro hřídel

1.2.5 Soustava základen

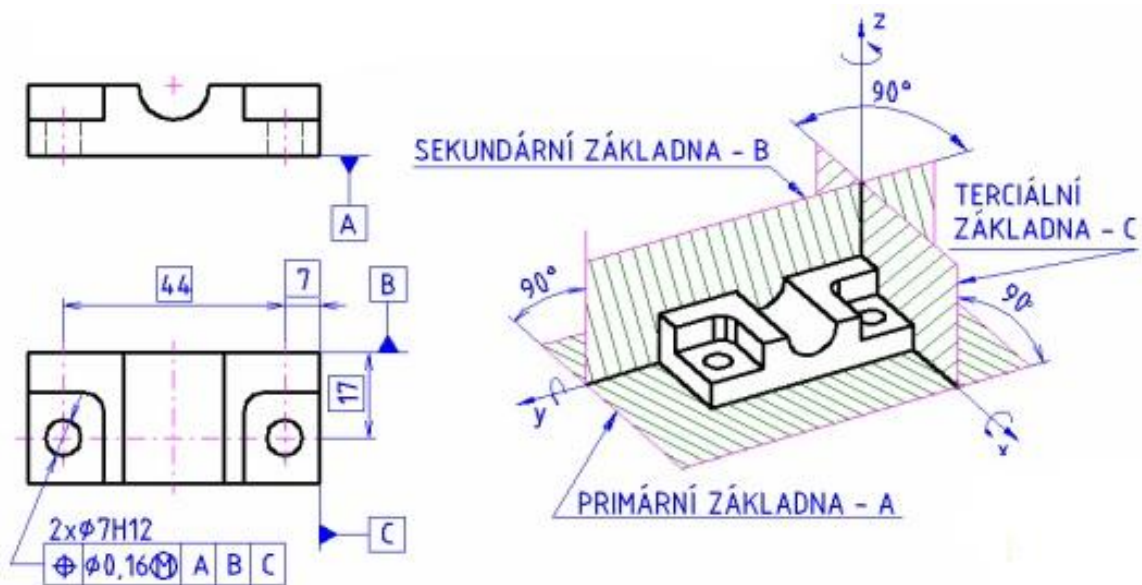
Soustava základen je souhrn dvou nebo více jednotlivých základen, které stanovují soustavu souřadnic, ke kterým se vztahuje geometrická tolerance.

Při předpisu soustav základen je pro vpisování písmen označujících jednotlivé základny využíváno samostatných polí (třetího a následujících) tolerančního rámečku. Zapisovány jsou v pořadí dle jejich důležitosti z hlediska funkce součásti (obr. 10). [5]



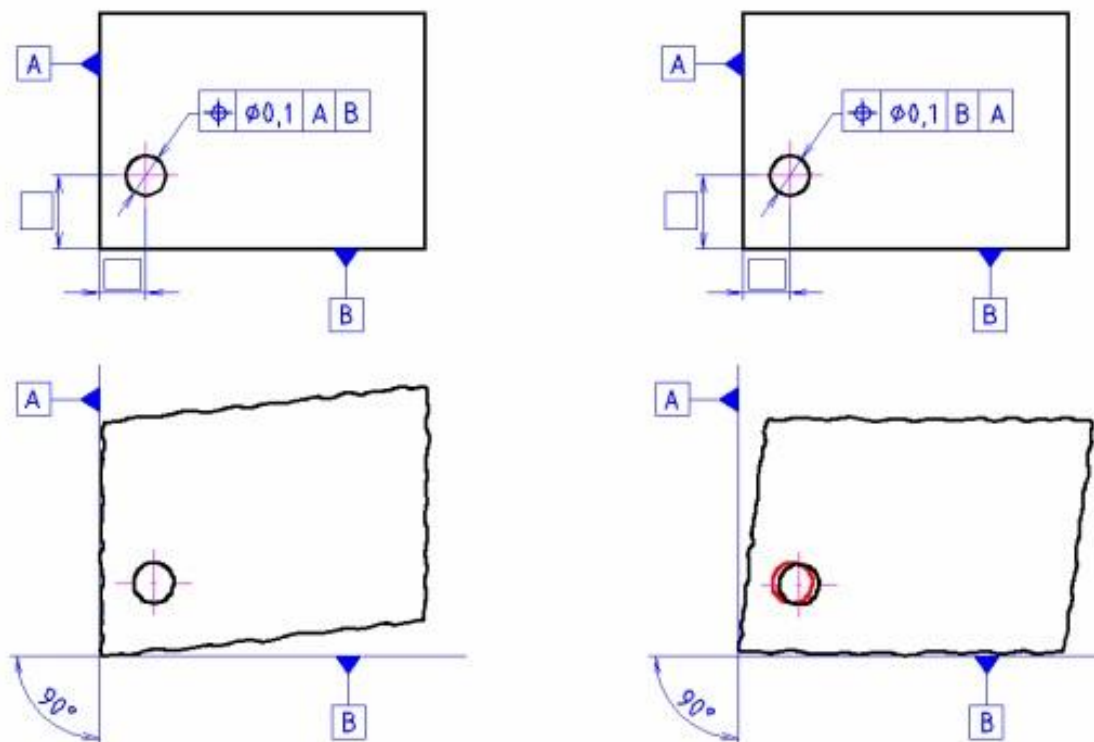
Obr. 10 Toleranční rámečky pro soustavy základen

Pro geometrické tolerance směru je často požadována jedna nebo dvě základny. Při tolerování polohy je ale často vyžadována soustava základen tvořena třemi k sobě vzájemně kolmými rovinami. Při zjišťování geometrických úchylek součásti je součást podle pořadí postupně přikládána k primární, následně sekundární a nakonec k terciální základně, přičemž je třeba dbát na postupné odnímání stupňů volnosti. Primární základna se také nazývá ustavovací, sekundární základna je též nazývána jako směrovací a pro terciální základnu je možné použít název opěrná. [2, 5]



Obr. 11 Grafické vysvětlení předpisu tolerančního pole ve vztahu k soustavě základen

Příklad soustavy základen tvořené dvěma základnami (obr.), kde je vidět dvou rozdílných výsledků měření při odlišné volbě pořadí základen na stejné součásti:

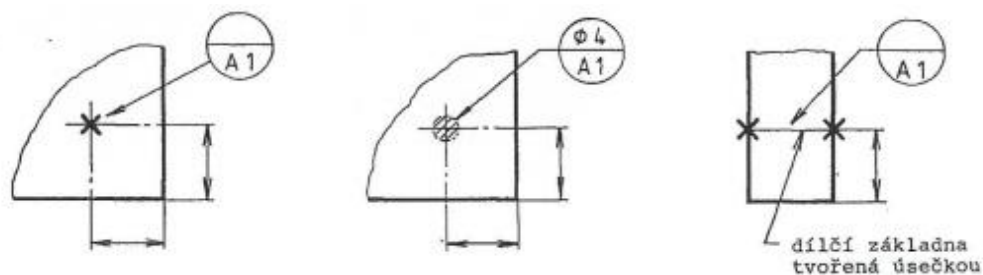


Obr. 12 Příklad rozdílného užití soustavy základen

1.2.6 Dílčí základny

Jelikož realizace základny pro předepsaný základní prvek nemusí být vždy jednoduchá a jednoznačná, využívá se předpisu několika dílčích základen namísto předpisu celé plochy (popř. roviny). Její tvar totiž nemusí být ve všech částech totožný s ideálním tvarem základního prvku a to může vést k odlišnostem při opakovaném měření od této základny. Dílčí základny mohou být tvořeny body, přímkou nebo několika malými ploškami kruhového či čtvercového tvaru. [2]

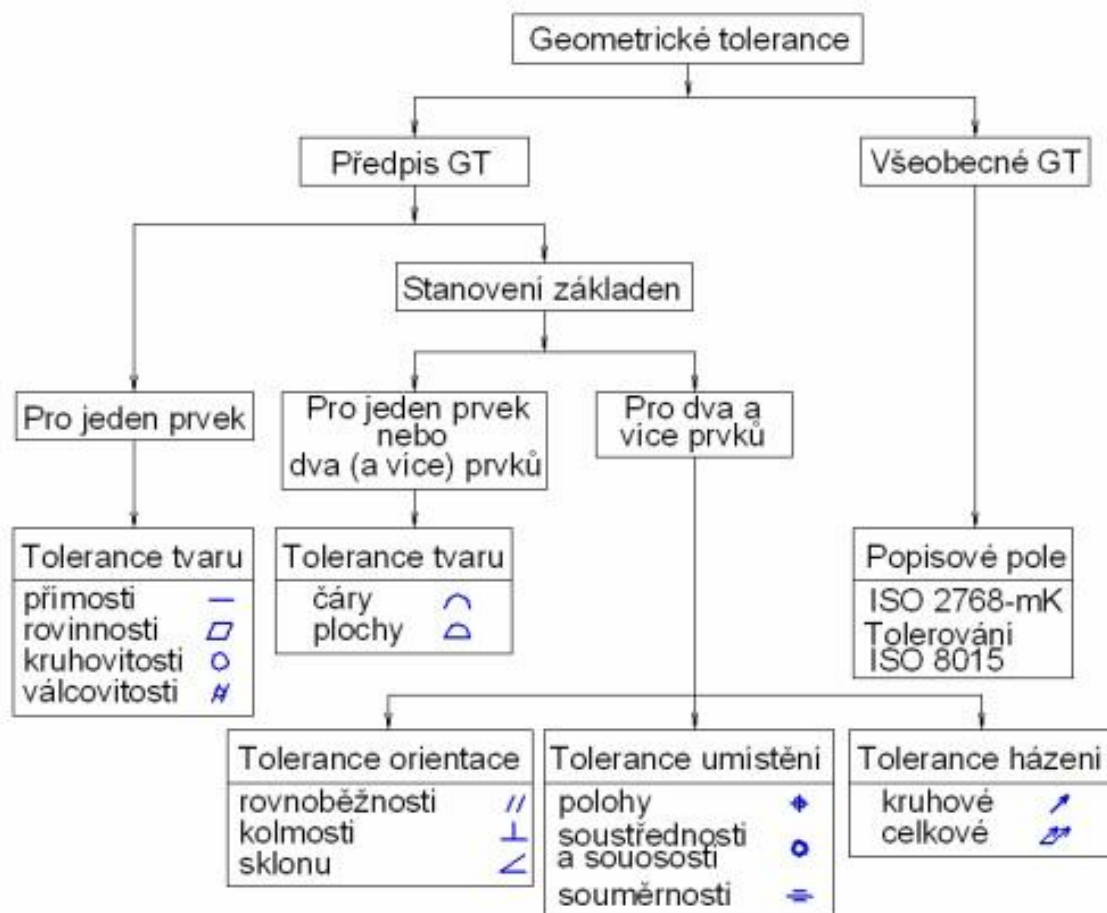
Pro zápis dílčích geometrických tolerancí na výkresech slouží kruhové rámečky, které jsou rozděleny na dvě pole vodorovnou čarou. Spodní pole je vyhrazeno pro písmeno označující základní prvek a číslici, které označuje číslo dílčí základny. Horní pole slouží pro doplnění rozměru dílčí základny. Tento údaj lze vynést i vně horního pole a spojit ho s polem odkazovou čarou (obr. 13). Vyplněný kruhový rámeček je poté spojen se značkou dílčí základny pomocí odkazové čáry ukončené šipkou. Značky dílčích základen musejí být ve výkrese umístěny a zakótovány na obraze, kde je jejich povrch co nejlépe zobrazen. Pokud je dílčí základnou bod, na výkrese je vyznačen křížkem kresleným tlustou čarou, přímka se vyznačí dvěma křížky spojenými tenkou čarou a ploška je ohraničena tenkou čerchovanou čarou se dvěma tečkami a vyšrafuje se (obr. 13). [5]



Obr. 13 Způsoby předepisování dílčích základen [4]

1.3 Volba geometrických tolerancí

Po zvolení vhodného druhu geometrické tolerance, kterou budeme chtít využít a hlavně dodržovat pro určitou součást, je nezbytné tuto toleranci také vhodně předepsat. Předpis geometrických tolerancí se ale liší, pokud se jedná o tolerance vztažené k jednomu či více prvkům. Podrobnějšímu vysvětlení předpisů geometrických tolerancí bude vysvětleno v dalších kapitolách.



Obr. 14 Schéma pro volbu geometrických tolerancí

2 Rozdělení geometrických tolerancí

Tolerance tvaru

Tolerance	Charakteristika	Značka	Potřebnost základny
tvaru	přímost		ne
	rovinnost		ne
	kruhovitost		ne
	válcovitost		ne
	(obrysová) čára profilu		ne
	povrch (plocha) profilu		ne

Obr. 15 Přehled geometrických tolerancí tvaru včetně značek [4]

Tolerance směru

Tolerance	Charakteristika	Značka	Potřebnost základny
směru	rovnoběžnost		ano
	kolmost		ano
	sklon		ano
	(obrysová) čára profilu		ano
	povrch (plocha) profilu		ano

Obr. 16 Přehled geometrických tolerancí směru včetně značek [4]

Tolerance umístění

Tolerance	Charakteristika	Značka	Potřebnost základny
umístění	poloha		ano nebo ne
	soustřednost		ano
	souosost		ano
	souměrnost		ano
	(obrysová) čára profilu		ano
	povrch (plocha) profilu		ano

Obr. 17 Přehled geometrických tolerancí umístění včetně značek [4]

Tolerance házení

Tolerance	Charakteristika	Značka	Potřebnost základny
házení	kruhové házení		ano
	celkové házení		ano

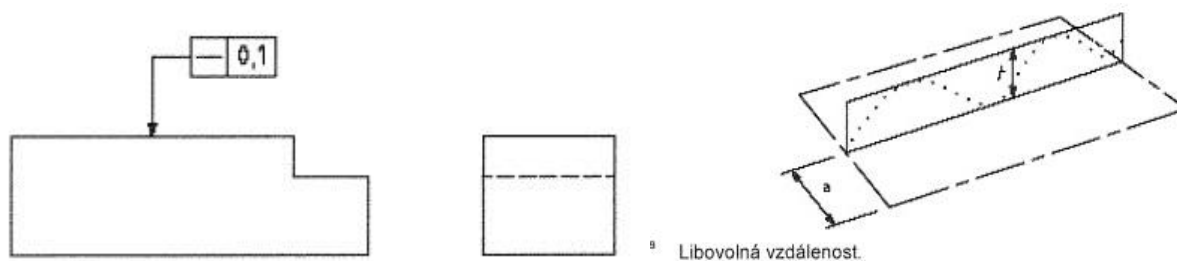
Obr. 18 Přehled geometrických tolerancí házení včetně značek [4]

2.1 Tolerance tvaru

2.1.1 Tolerance přímosti

Přímost tolerovaného prvku je považována jako správná, pokud kterýkoliv bod skutečného prvku je vzdálen nejvýše o hodnotu tolerance od obalové přímky ideálního geometrického tvaru. Směr takovéto obalové přímky při tom musí být takový, aby bylo dosaženo co nejmenší vzdálenosti mezi touto přímkou a skutečným profilem. [2]

Toleranční pole je v dané rovině a daném směru dvěma rovnoběžkami, které jsou od sebe vzdálené o hodnotu tolerance „t“. Skutečná (zjištěná) čára na ploše součásti musí ležet mezi těmito rovnoběžkami, které jsou od sebe vzdálené 0,1 mm (obr. 19). Toleranční pole přímosti může být vymezeno také dvěma rovnoběžnými rovinami, pokud je tolerován např. povrch válce, nebo může být toleranční pole vymezeno i válcem o průměru hodnoty tolerance. V tomto případě musí být před hodnotou tolerance uvedena značka „Ø“ a tolerována takto může být střední čára válce. [1, 4]

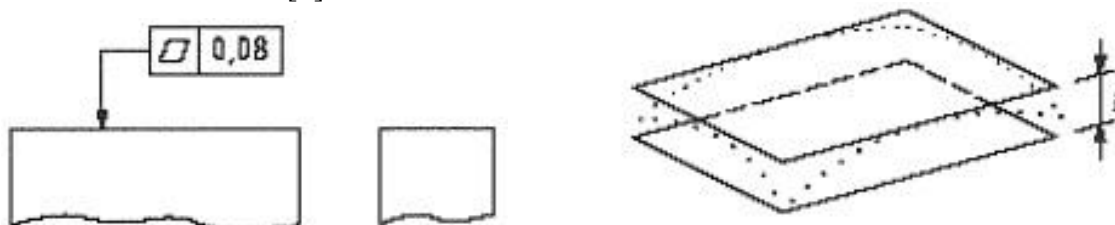


Obr. 19 Označení a vysvětlení geometrické tolerance přímosti [4]

2.1.2 Tolerance rovinnosti

Rovinnost tolerovaného prvku je považována jako správná, pokud kterýkoliv bod skutečného prvku je vzdálen nejvýše o hodnotu tolerance od obalové roviny ideálního geometrického tvaru. Směr takovéto obalové roviny při tom musí být takový, aby bylo dosaženo co nejmenší vzdálenosti mezi touto obalovou rovinou a skutečným profilem. [2]

Toleranční pole je vymezené dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdálené o hodnotu tolerance „t“ (obr. 20). Skutečná (zjištěná) rovina se musí nacházet mezi těmi dvěma rovinami. [4]

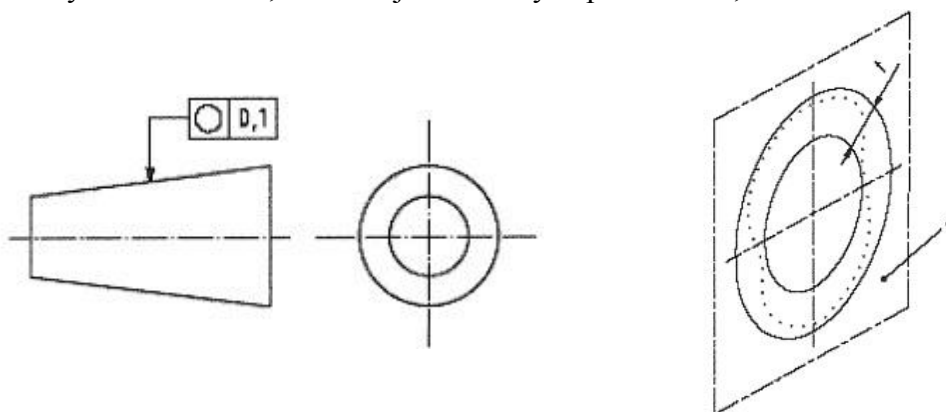


Obr. 20 Označení a vysvětlení geometrické tolerance rovinnosti [4]

2.1.3 Tolerance kruhovitosti

Kruhovitost určuje poloha dvou soustředných kružnic s co možná nejmenší jejich vzájemnou vzdáleností. Jedna z těchto kružnic je při tom kružnicí obalovou (u profilu díry vepsanou, u profilu hřídele opsanou), druhá z kružnic se dotýká povrchu. [2]

Toleranční pole je v uvažovaném průřezu vymezené dvěma soustřednými kružnicemi s rozdílem poloměrů „t“ (obr. 21), ve kterém musí i skutečná (zjištěná) obvodová čára ležet. V příkladu na obr...musí skutečná obvodová čára ležet mezi dvěma koplánárními soustřednými kružnicemi, které mají rozdíl svých poloměrů 0,1 mm.

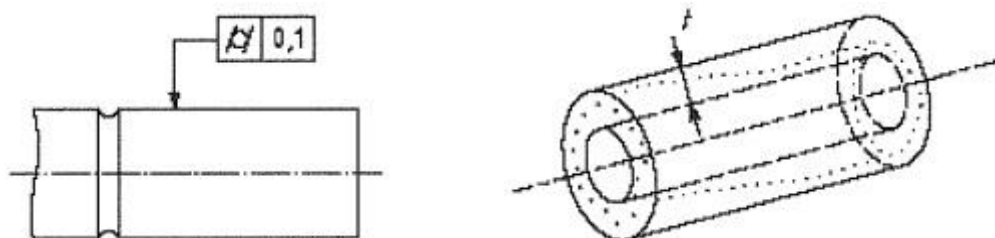


Obr. 21 Označení a vysvětlení geometrické tolerance kruhovitosti [4]

2.1.4 Tolerance válcovitosti

Válcovitost tolerovaného prvku je považována jako správná, pokud se skutečný válec nachází mezi dvěma souosými válci s ideálním geometrickým tvarem. Jeden z válců je při tom obalovým válcem a radiální vzdálenost válců mezi nimi musí být co nejmenší, avšak maximální může být jen do výše předepsané tolerance válcovitosti.

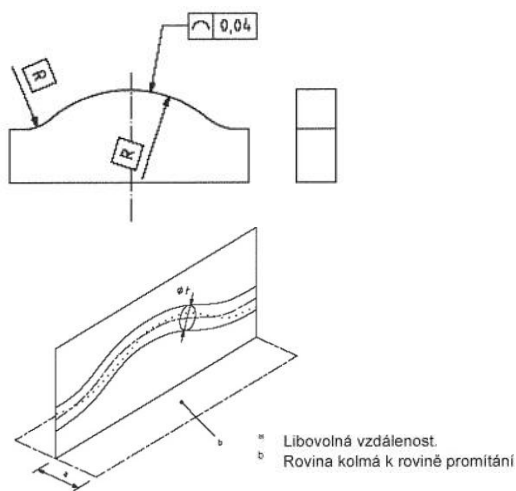
Toleranční pole je vymezeno rozdílem poloměrů „t“ obou souosých válců, přičemž skutečná válcová plocha musí ležet mezi dvěma souosými válci s rozdílem poloměrů 0,1 mm (obr. 22).



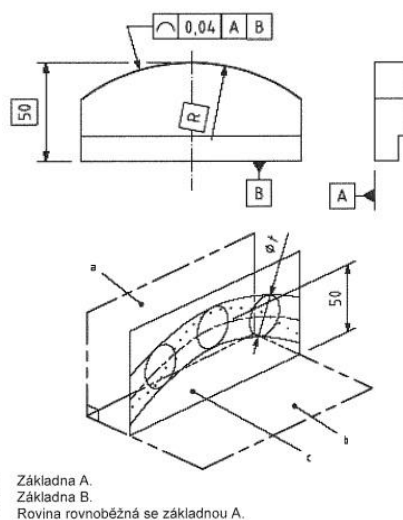
Obr. 22 Označení a vysvětlení geometrické tolerance válcovitosti

2.1.5 Tolerance profilu čáry

Toleranční pole je vymezené mezi dvěma ekvidistantními obalovými čarami kružnic s průměrem daným tolerancí, které svými středy kopírují čáru s geometricky přesným tvarem (obr. 23). Zjištěná skutečná čára profilu musí ležet mezi dvěma již zmíněnými čarami a to v každém průřezu, ve kterém je označení zobrazeno a který je rovnoběžný s rovinou promítání. Tolerance může být buď nevztahovaná k základně, nebo vztahovaná k základně či k soustavě základen. V druhém případě je čára tvořená středy kružnic s geometricky přesným tvarem ještě vztahovaná vzhledem k soustavě základen (obr. 24). [1, 4]



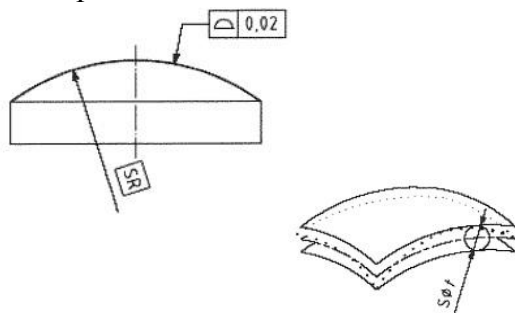
Obr. 23 Označení a vysvětlení geometrické tolerance tvaru profilu čáry [4]



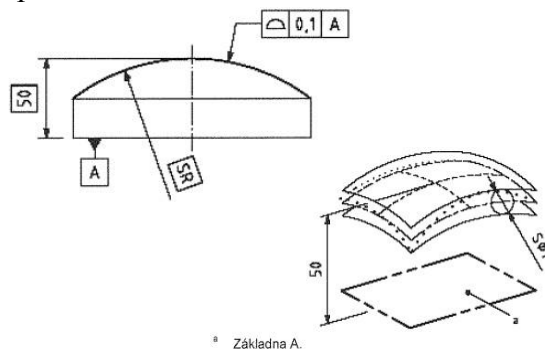
Obr. 24 Označení a vysvětlení tvaru profilu čáry vztahované k soustavě základen [4]

2.1.6 Tolerance profilu plochy

Stejně jako u tolerance profilu čáry může být i tolerance profilu plochy buď nevztahovaná k základnám (obr. 25), nebo naopak k základně či soustavě základen vztahovaná (obr. 26). Toleranční pole je vymezené dvěma ekvidistantními plochami, obalujícími množinu koulí o průměru „t“, jejichž středy leží na povrchu s teoreticky přesným tvarem. Při vztahu k základně ještě ve jmenovité poloze vzhledem k základně či soustavě základen. Zjištěná skutečná plocha musí ležet v takovémto tolerančním poli. [2, 4]



Obr. 25 Označení a vysvětlení geometrické tolerance profilu plochy [4]



Obr. 26 Označení a vysvětlení geom. tolerance profilu plochy ve vztahu k základně [4]

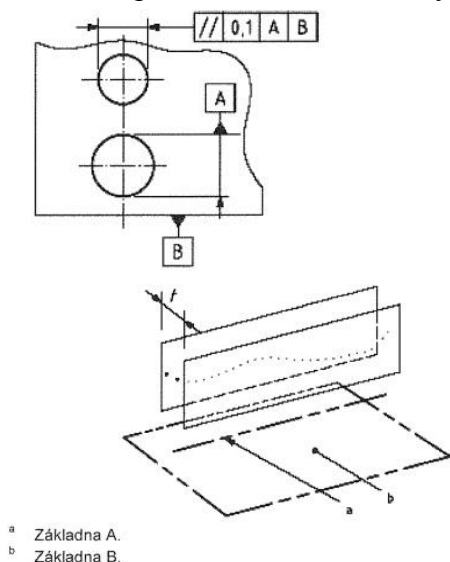
2.2 Tolerance směru

2.2.1 Tolerance rovnoběžnosti

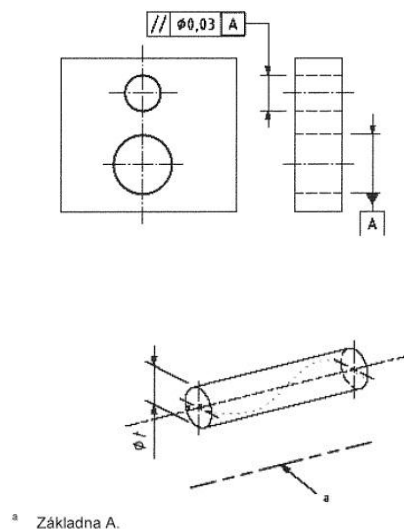
Tolerance rovnoběžnosti

Rovnoběžnost může být předepsána tolerancí rovnoběžnosti:

- Dvou přímk (nejčastěji os) – toleranční pole je omezeno dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o předepsanou toleranci „t“, které jsou orientované ve směru příslušné kóty, ke které je předpis tolerance připojen a jsou rovnoběžné s osou základny (obr. 27). Zjištěná čára se musí nacházet v takovémto tolerančním poli. V případě, že je v předpisu tolerance značka průměru, toleranční pole je vymezené válcem o průměru tolerance, který je rovnoběžný se základnou (obr. 28). [2, 4]

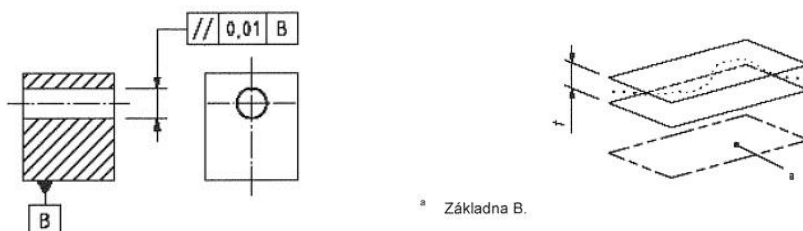


Obr. 27 Označení a vysvětlení geometrické tolerance rovnoběžnosti [4]



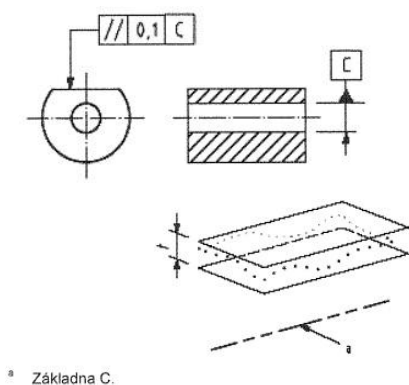
Obr. 28 Označení a vysvětlení geom. tolerance rovnoběžnosti pro válcové tol. pole [4]

- Přímky s rovinou – toleranční pole je vymezeno dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance a zároveň rovnoběžnými se základnou. V příkladě na obr. 29 se musí skutečná střední čára nacházet mezi takovýmito rovinami.



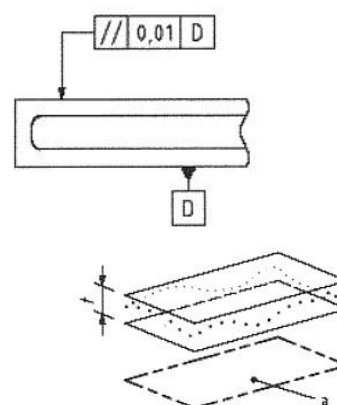
Obr. 29 Označení a vysvětlení geometrické tolerance rovnoběžnosti přímky s rovinou [4]

- Roviny s přímkou – toleranční pole je vymezeno dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance a zároveň rovnoběžnými se základnou. Skutečná (zjištěná) plocha na příkladu na obr. 30 musí ležet mezi takovými rovinami a být rovnoběžná se střední čarou. [2, 4]
- Dvou rovin – toleranční pole je opět vymezené dvěma rovnoběžnými rovinami se vzdáleností, která se může nejvýše rovnat hodnotě tolerance, a jsou zároveň rovnoběžné se základnou, která je v příkladě na obr. 31 tvořena plochou. [2,4]



a Základna C.

Obr. 30 Označení a vysvětlení geometrické tolerance rovnoběžnosti roviny s přímkou [4]



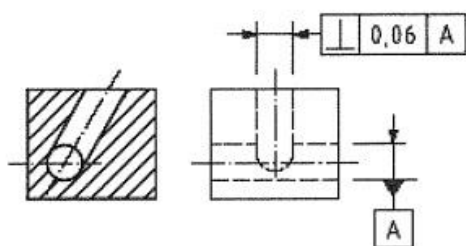
a Základna D.

Obr. 31 Označení a vysvětlení geometrické tolerance rovnoběžnosti dvou rovin [4]

2.2.2 Tolerance kolmosti

Kolmost bývá předepsána jako tolerance kolmosti:

- Přímkou k přímce – nejčastěji se tak předepisuje závislost osy k ose základny (obr. 32), kdy je toleranční pole vymezené dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance a kolmými k základně. [2,4]



a Základna A.

Obr. 32 Označení a vysvětlení geometrické tolerance kolmosti dvou přímek [4]

- Přímkou k rovině – pokud je před hodnotou tolerance zadána značka průměru, toleranční pole bude válcové s průměrem o hodnotě tolerance a kolmé k základně.

Tolerovaná přímka, nejčastěji střední čára čepu či díry se musí nacházet v takovémto tolerančním poli.

Pakliže není značka průměru předepsána, úchylka kolmosti je posuzována ve směru kóty, kdy je opět toleranční pole tvořené rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance a kolnými k základně (obr. 33). [2,4]



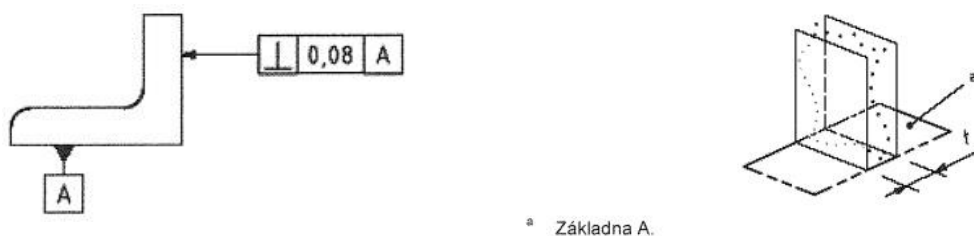
Obr. 33 Označení a vysvětlení geometrické tolerance kolmosti přímky k rovině [4]

- Roviny k přímce – Toleranční pole je stejně jako v předešlých případech tvořeno rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance a zároveň kolnými k základně. Použití může být například k tolerování kolmosti čela k ose čepu (obr. 34).



Obr. 34 Označení a vysvětlení geometrické tolerance kolmosti roviny k přímce [4]

- Roviny k rovině – Skutečná rovina se musí nacházet v tolerančním poli (totožné jako v předchozích variantách) kolmém k základně (obr. 35).

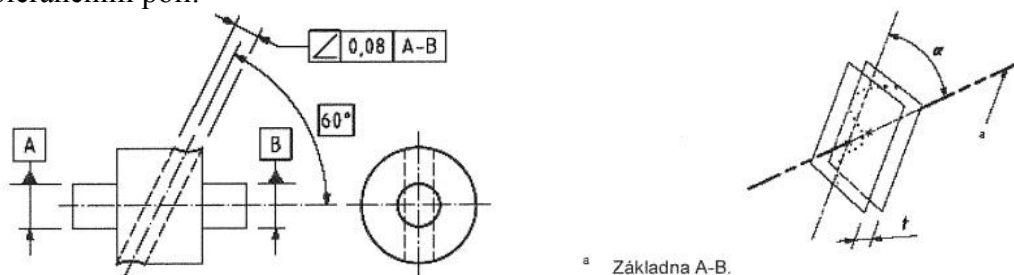


Obr. 35 Označení a vysvětlení geometrické tolerance kolmosti dvou rovin [4]

2.2.3 Tolerance sklonu

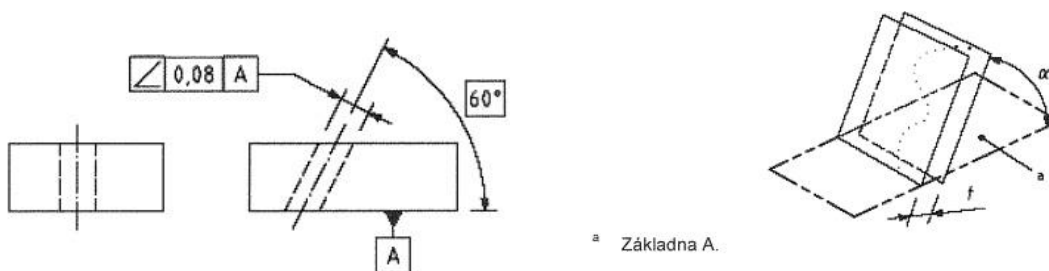
Sklon může být předepsán jako tolerance sklonu:

- Tolerance sklonu čáry vztažená k přímkce základny – Používá se často pro tolerování osy díry součásti. Toleranční pole je vymezené dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu tolerance a skloněné vůči základně v daném úhlu. Skutečná (zjištěná) čára (střední přímkca viz obr. 36) se musí nacházet v tomto tolerančním poli.



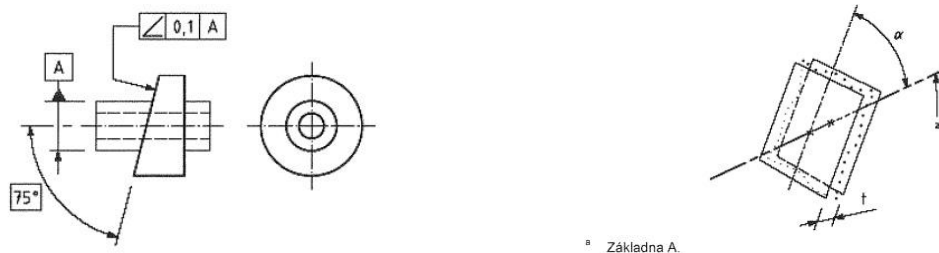
Obr. 36 Označení a vysvětlení geometrické tolerance sklonu osy [4]

- Tolerance sklonu přímky vztažená k ploše základny – Využití je opět převážně na tolerování os děr v součástech. Toleranční pole je vymezené dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými o hodnotu tolerance a skloněnými k základně v daném úhlu. V tomto tolerančním poli se musí skutečná střední přímka nacházet (obr. 37). Pokud je před hodnotou tolerance uvedena značka průměru, toleranční pole je vymezené válcem o průměru hodnoty tolerance a skloněným o daný úhel k primární základně. K základně sekundární je toto toleranční pole rovnoběžné.



Obr. 37 Označení a vysvětlení geom. tolerance sklonu osy díry k ploše základny [4]

- Tolerance sklonu plochy vztažená k přímkce základny – Toleranční pole je vymezené dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance a skloněné vůči základně o předepsaný úhel. Skutečná plocha se musí nacházet v tomto tolerančním poli (obr. 38).
- Tolerance sklonu plochy vztažená k ploše základny – toleranční pole je totožné s předchozím případem. Základnu v tomto případě tvoří plocha (obr. 39).



Obr. 38 Označení a vysvětlení geometrické tolerance sklonu plochy k přímce [4]

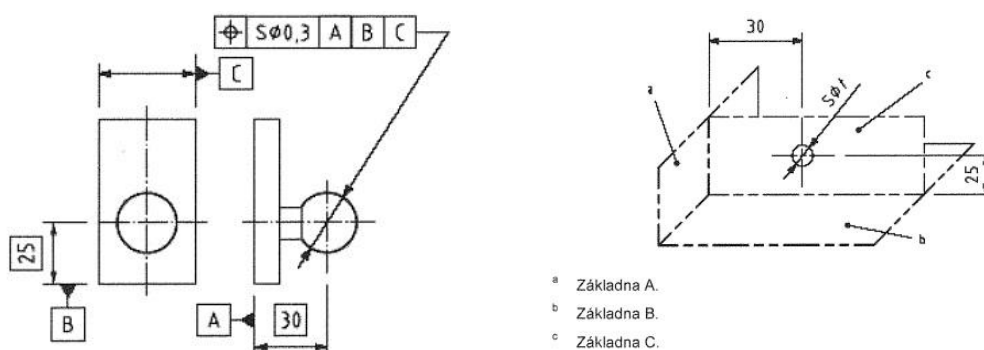


Obr. 39 Označení a vysvětlení geometrické tolerance sklonu dvou rovin [4]

2.3 Tolerance umístění

2.3.1 Tolerance polohy

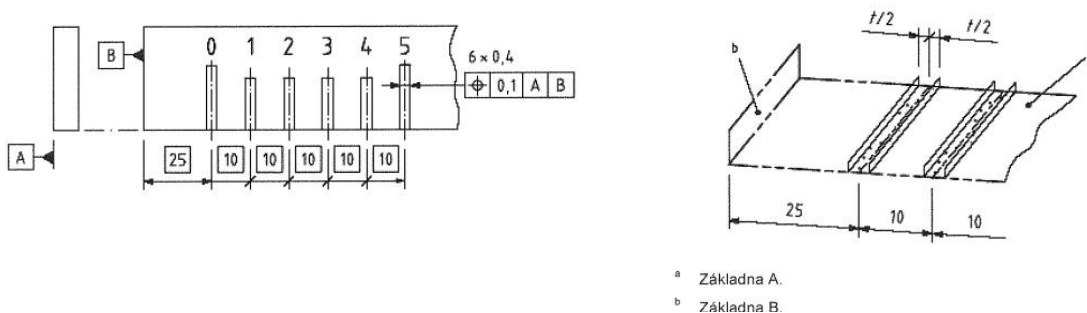
- Tolerance polohy bodu – bod je v prostoru nebo na ploše určen teoreticky přesnými kótami a tolerance, která nám vymezuje toleranční pole, je vztahena k soustavě základen. Na obr. 40 je příklad tolerance středu kolovitého tvaru součásti, kde musí skutečný střed ležet v kulovitém tolerančním poli o průměru 0,3mm v teoreticky přesné poloze vzhledem k základnám. [2, 4]



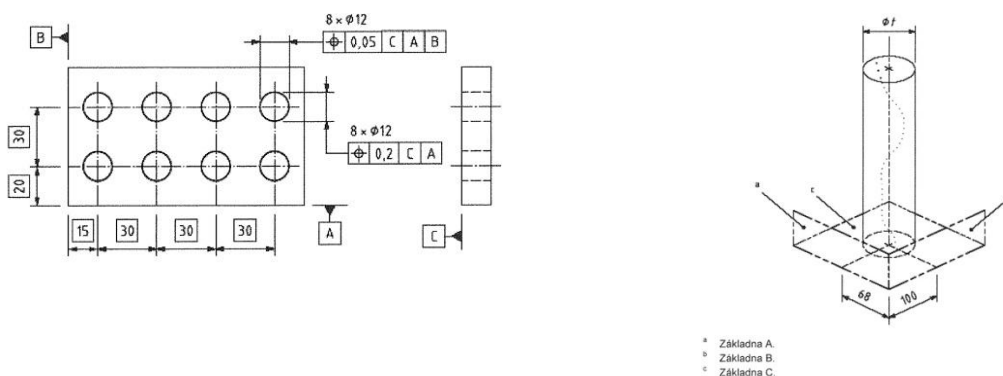
Obr. 40 Označení a vysvětlení geometrické tolerance polohy bodu [4]

- Tolerance polohy čáry – tato tolerance je vhodná například pro umístění přesných rysek na součásti (obr. 41) nebo na určení polohy osy díry.

Toleranční pole vymezují dvě rovnoběžné roviny vzdálené od sebe o hodnotu tolerance a rozložené symetricky kolem teoreticky přesné polohy, nebo může být případně válcovitě, pokud je před hodnotou tolerance symbol „Ø“ (obr. 42). Takové toleranční pole leží v poloze určené teoreticky přesnými rozměry vzhledem k základnám a skutečná čára se v něm musí nacházet.[2, 4]

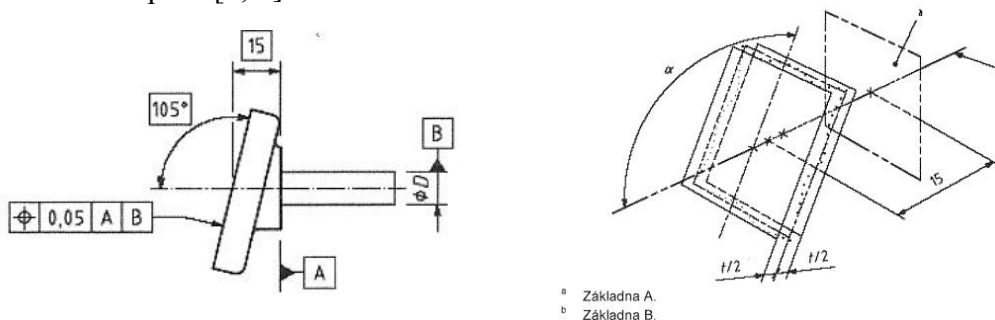


Obr. 41 Označení a vysvětlení geometrické tolerance polohy čáry [4]



Obr. 42 Označení a vysvětlení geom. tolerance polohy válcového tol. pole [4]

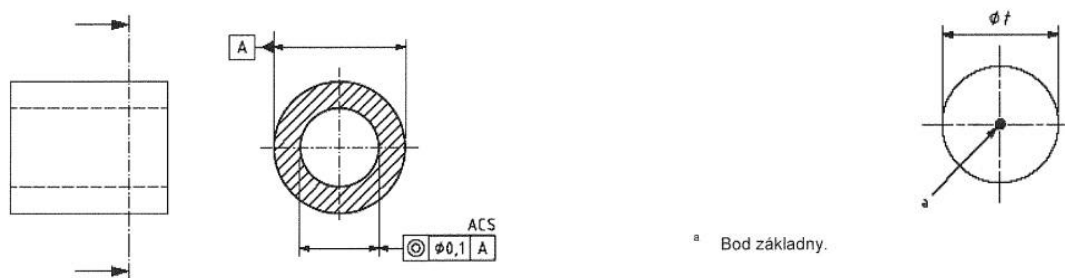
- Tolerance polohy rovinné plochy nebo střední roviny – toleranční pole je vymezené dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance a umístěné symetricky kolem teoreticky přesné polohy určené teoreticky přesnými rozměry ve vztahu k základnám (obr. 43). Skutečná plocha se musí nacházet v takovém tolerančním poli. [2, 4]



Obr. 43 Označení a vysvětlení geometrické tolerance polohy rovinné plochy [4]

2.3.2 Tolerance soustřednosti bodu

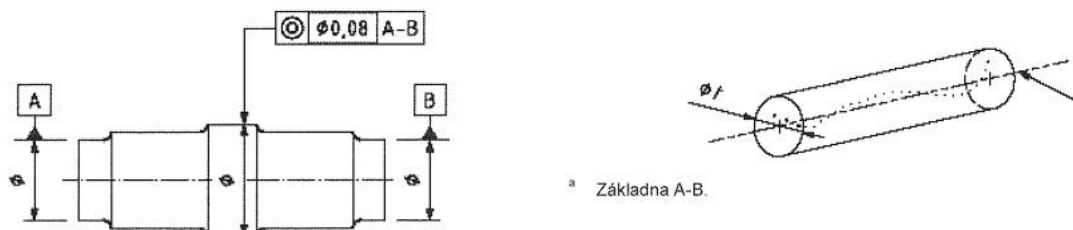
Soustřednost dvou prvků může být předepsána kupříkladu jako na obr. 44. Toleranční pole je vymezené kruhem o průměru daném hodnotou tolerance, pokud je před její hodnotou uvedena značka „Ø“. Skutečný střed vnitřní kružnice se musí nacházet v kruhu o průměru 0,1 mm, který je soustředný s bodem základny v průřezu. [2, 4]



Obr. 44 Označení a vysvětlení geometrické tolerance soustřednosti bodu [4]

2.3.3 Tolerance sousosti bodu

Předpisu této tolerance se používá například pro hřídele, které slouží pro uložení v ložiskách, nebo pro tolerování sousosti děr ve skříních převodovek pro uložení hřídelů. Toleranční pole je vymezené válcem o průměru tolerance, pokud je před její hodnotou uvedena značka „Ø“. Osa tohoto válcového pole je totožná se základnou. Na obr. 45 je uveden příklad tolerance střední čáry válce na hřídeli, která musí ležet ve válcovém tolerančním poli o průměru 0,08mm. Osa tohoto válcového pole je tvořena společnou přímkou základen A a B. [1, 4]



Obr. 45 Označení a vysvětlení geometrické tolerance sousosti bodu [4]

2.3.4 Tolerance souměrnosti

Toleranční pole je vymezené dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance. Pole je umístěné souměrně vzhledem k základně. V uvedeném příkladu na obr. 46 je předepsána tolerance souměrnosti frézované drážky na součásti v tolerančním poli o hodnotě 0,08 mm rozloženým kolem roviny souměrnosti A. [1, 4]



Obr. 46 Označení a vysvětlení geometrické tolerance souměrnosti [4]

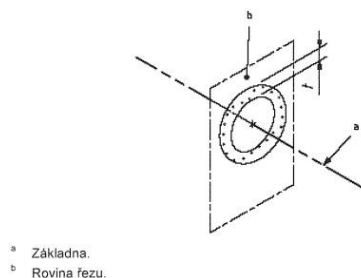
2.4 Tolerance házení

Do této skupiny tolerancí patří tolerance házení:

- Kruhového
 - a. Obvodového
 - b. Čelního
 - c. V libovolném směru
 - d. V daném směru
- Celkového
 - a. Obvodového
 - b. Čelního

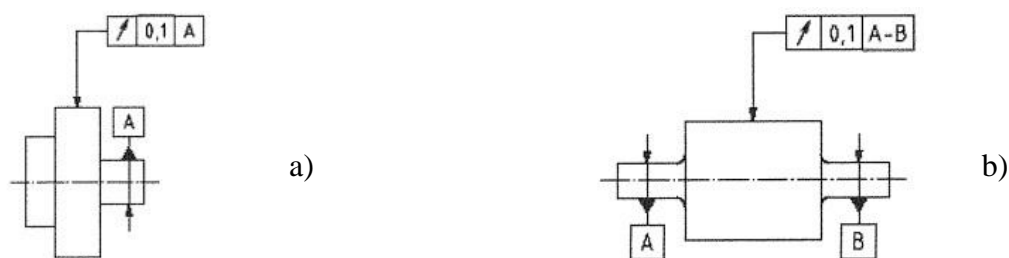
2.4.1 Tolerance kruhového házení obvodového

Tolerance obvodového házení nám stanovuje (omezuje) takové toleranční pole, ve kterém se nám ještě může vyskytovat projevená úchylka kruhovitosti profilu daného průřezu spolu s úchylkou soustřednosti. V kterékoliv kolmé rovině k ose součásti je toleranční pole ohraničeno dvěma soustřednými kružnicemi, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu tolerance (obr. 47) a mají středy shodné se základnou. Obvykle se obvodové házení vztahuje k celému prvku součásti, ale může být vztaženo i pouze k částem prvků. [1, 4]



Obr. 47 Vysvětlení geometrické tolerance kruhového házení obvodového [4]

Na příkladu na obr. 48a je uvedena součást, kde je tolerance obvodového házení vztažena ke kolmé rovině průřezu k základně A. Skutečná čára zjištěná v této rovině musí ležet mezi dvěma soustřednými kružnicemi o rozdílu poloměrů 0,1 mm. Na dalším obr. 48b je příklad tolerance vztažené ke společné základně A-B. [1, 4]



Obr. 48 Označení geom. tolerance obvodového házení vztažené k základně a) a společné základně b)

2.4.2 Tolerance kruhového házení čelního

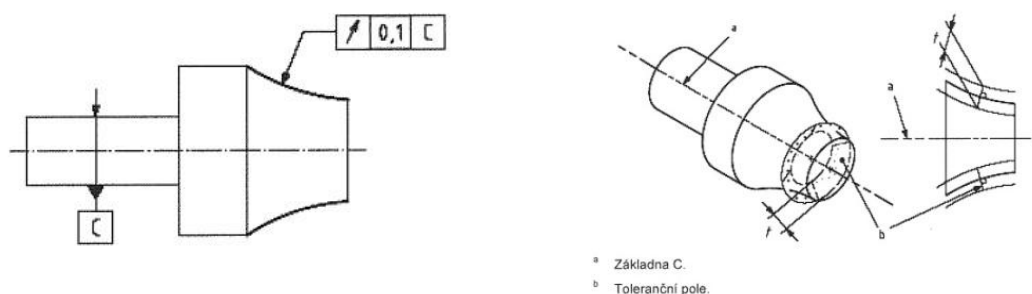
Toleranční pole je vymezené v daném válcovém průřezu dvěma kružnicemi, které jsou od sebe vzdálené o hodnotu tolerance a jejich osa je totožná se základnou (obr. 49). Čelním házením se nám projevuje úchylka kolmosti čela k základně. Na příkladu na obr...je předepsána tolerance kruhového čelního házení, kdy musí zjištěná čára v libovolném válcovém průřezu ležet mezi dvěma kružnicemi vzdálenými od sebe 0,1 mm s osou shodnou se základnou D. [1, 4]



Obr. 49 Označení a vysvětlení geometrické tolerance kruhového házení čelního [4]

2.4.3 Tolerance kruhového házení v libovolném směru

Pokud není předpisem stanoveno jinak, toleranční pole má šířku ve směru normály k předepsané geometrii. Toto toleranční pole je vymezené dvěma kružnicemi vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance s osami stejnými se základnou. Na obr. 50 je znázorněna součást s kuželovou plochou, na které musí každá skutečná čára v libovolném kuželovém průřezu ležet mezi dvěma kružnicemi vzdálenými od sebe 0,1 mm. V tomto případě, kdy není tvořící čára tolerovaného prvku přímková, bude vrcholový úhel kuželového průřezu proměnný v závislosti na skutečné poloze. [1, 4]



Obr. 50 Označení a vysvětlení geom. tolerance kruhového házení v libovolném směru [4]

2.4.4 Tolerance kruhového házení v daném směru

Toleranční pole je vymezené v libovolném kuželovém průřezu a daném úhlu dvěma kružnicemi, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu tolerance a které mají stejnou osu jako základna. Takovýto libovolný kuželový průřez má vždy úhel shodný s úhlem kužele součásti.

2.4.5 Tolerance celkového obvodového házení

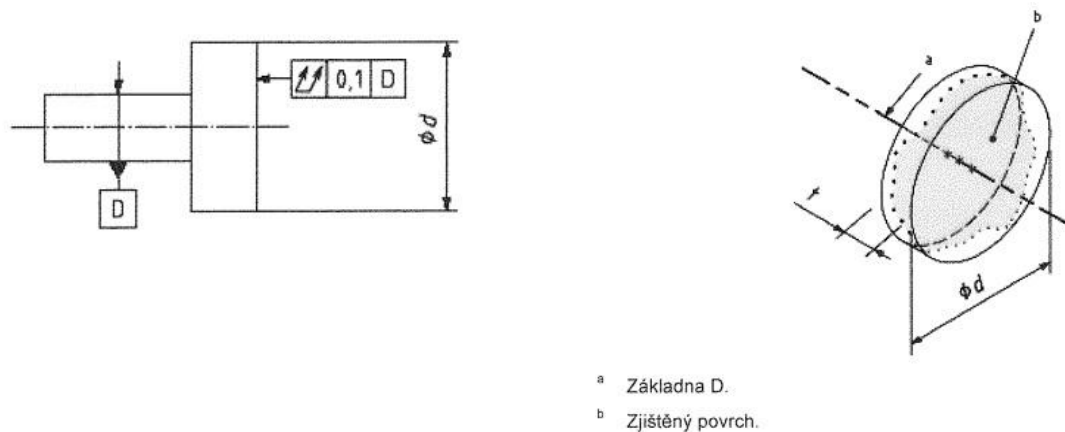
Tolerance celkového obvodového házení je předepisována jen u jmenovitých válcových ploch. Celkovým obvodovým házením dochází k projevům úchylek válcovitosti a sousosti tolerované plochy se základnou. Toleranční pole je vymezené dvěma sousými válci, kde rozdíl poloměrů tvoří hodnotu tolerance a jejich osy jsou stejné se základnou. Na obr. 51 je zobrazena součást, kde je tolerance vztažena ke společné základně A-B. [1, 4]



Obr. 51 Označení a vysvětlení geometrické tolerance celkového obvodového házení [4]

2.4.6 Tolerance celkového čelního házení

Tolerance celkového čelního házení je předepisována jen u jmenovitých rovinných ploch tj. čel rotačních součástí (obr. 52). Celkovým čelním házením dochází k projevům úchylek rovinnosti čelní plochy součásti a úchylky její kolmosti vůči základní ose. Toleranční pole je vymezené dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance. Tyto roviny musí být zároveň kolmé k základně. Zjištěný povrch se musí nacházet mezi těmito rovinami. [1, 4]

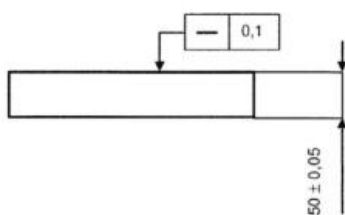


Obr. 52 Označení a vysvětlení geometrické tolerance celkového házení čelního [4]

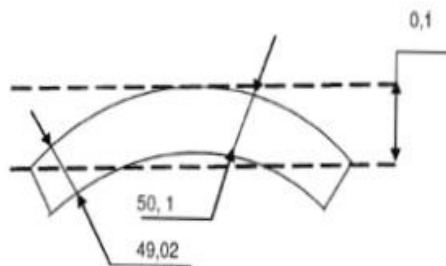
2.5 Pravidlo nezávislosti

Mezinárodní norma ISO 8015 ustanovuje vztahy mezi rozměrovými a geometrickými tolerancemi. Vychází z ní Základní pravidlo tolerování, které se nazývá pravidlo nezávislosti. Z tohoto pravidla vyplývá, že musí být délkové rozměry s mezními úchytkami, úhlové rozměry s mezními úchytkami a geometrické tolerance posuzovány nezávisle, pokud není ovšem jejich vzájemný vztah předepsán. Toto pravidlo nezávislosti se vztahuje na takové součásti, které mají ve výkresové dokumentaci v popisovém poli nebo jeho blízkosti odkaz na normu ISO 8015 předpisem *Tolerování ISO 8015*.

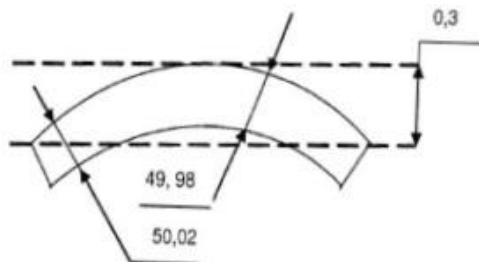
Při předepsání například geometrické tolerance přímosti rozměrové tolerance výšky na součásti (obr. 53), pravidlo vzájemné nezávislosti stanovuje posuzovat tyto dvě tolerance nezávisle na sobě. Tvar součásti může potom ve výsledku odpovídat jedné ze tří variant. První případ je splnění podmínky geometrické tolerance a nesplnění tolerance rozměru (obr. 54). Druhý případ je splnění tolerance rozměru, ale nesplnění geometrické tolerance přímosti (obr. 55). Posledním případem je splnění obou zadaných tolerancí, ale stále za předpokladu jejich vzájemné nezávislosti (obr. 56). [10]



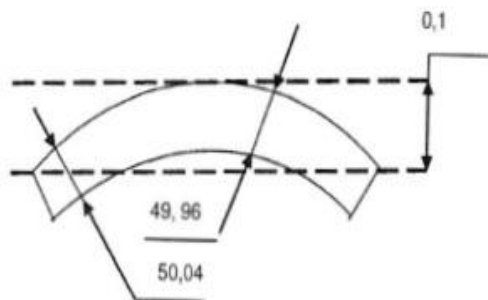
Obr. 53 Předpis tolerancí [2]



Obr. 54 Nesplnění rozměru při splnění přímosti [2]



Obr. 55 Splnění rozměru při nesplnění přímosti [2]



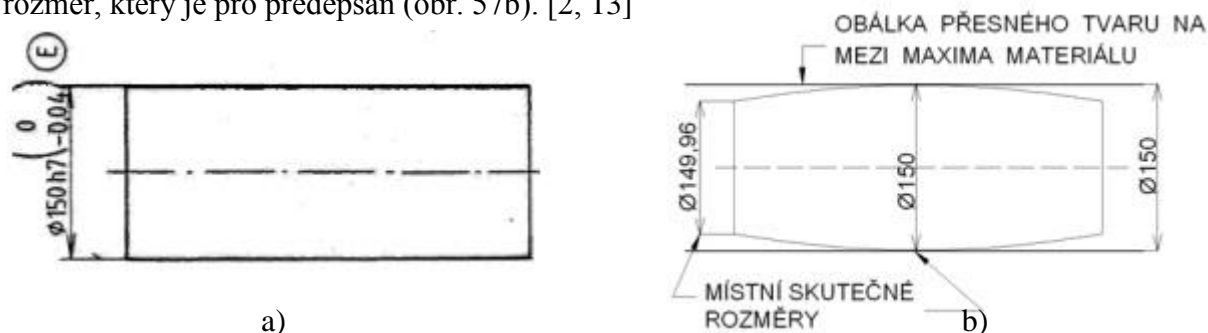
Obr. 56 Splnění obou předepsaných tolerancí při jejich nezávislosti [2]

2.6 Požadavky na vzájemnou závislost

V případě, že je potřeba splnit podmínky geometrické i rozměrové tolerance, které jsou na sobě vzájemně závislé, je nutné předepsání této podmínky na výkrese. Jedná se především o podmínku obalové plochy, podmínku maxima a minima materiálu, podmínku reciprocity a podmínku posunutého tolerančního pole. [10]

2.6.1 Podmínka obalové plochy

Tato podmínka, vycházející z ČSN EN ISO 14405-1, je používána hlavně tam, kde budou součásti (hřídel a díra) vzájemně tvořit uložení. Předepisuje se velkým písmenem E v kroužku, které je umístěno hned za tolerovaným rozměrem (obr. 57a). Pakliže je požadována kontrola obalovou plochou u všech rozměrů na výkrese, velké písmeno E je doplněno do zápisu tolerování všeobecných tolerancí do razítka výkresu (ISO 2768 – mK – E). Vyráběná součást (hřídel) musí splňovat podmínku tolerance rozměru a zároveň musí ležet uvnitř obalové plochy o přesném geometrickém tvaru o rozměru shodném s horním mezním rozměrem tolerovaného prvku. Tato obálka s tvarem na mezi maxima materiálu je jednoduše kontrolovatelná komplexním kalibrem. Dolní mezní rozměr je kontrolovatelný jen dvoubodovým měřením, přičemž takto zjištěné hodnoty nesmí být menší než dolní mezní rozměr, který je pro předepsán (obr. 57b). [2, 13]



Obr. 57 Předpis a vysvětlení podmínky obalové plochy [2]

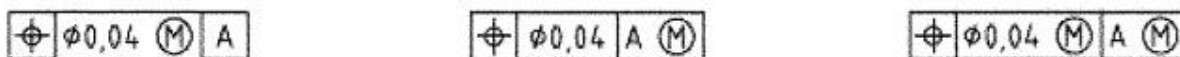
Podobně je s touto podmínkou nakládáno i u prvků charakteru díry. V tomto případě je ale rozhodujícím rozměrem dolní mez rozměrové tolerance. Tato mez tvoří nejmenší možný rozměr průměru válce vepsaného díře. Horní mezní rozměr nesmí být větší než předepsaná úchylka.

2.6.2 Podmínka maxima nebo minima materiálu

Závislosti úchylek geometrických tolerancí prvků na skutečných rozměrech prvků mohou být předepsány tak, že je možné překročit skutečnou úchylkou tvaru nebo vzájemné polohy hodnotu stanovenou předpisem geometrické tolerance. V takovémto předpisu je využito podmínky maxima materiálu (MMC) nebo minima materiálu (LMC), které vycházejí z normy ČSN EN ISO 2692. Překročení u skutečné úchylky může představovat rozdíl mezi rozměrem prvku na mezi maxima nebo minima materiálu a skutečným rozměrem prvku.

Toto překročení tvoří využívaný, virtuální rozměr při kontrole součásti měřením, kdy nám určuje součást jako vyhovující nebo nevyhovující. Pokud je ale skutečný rozměr prvku na mezi maxima nebo minima materiálu, předepsaná geometrická tolerance musí být dodržena. [2,11]

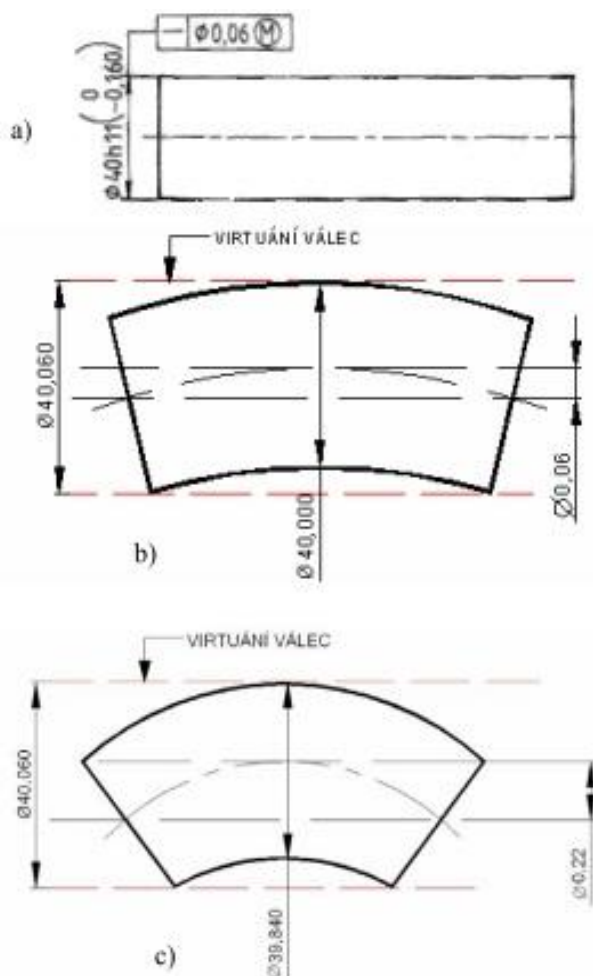
Předpis podmínky maxima materiálu se vkládá do tolerančního rámečku jako písmeno M v kroužku a to za hodnotu tolerance nebo za označením základny či základen (obr. 58).



Obr. 58 Předpis podmínky maxima materiálu do tol.rámečku [4]

Předpis podmínky maxima materiálu k tolerovanému prvku (obr. 59a):

Při rozměru válce na maximum materiálu (obr. 59b) bude průměr válce shodný s horním mezním rozměrem 40 mm a při tom bude zároveň dodržen předepsaný průměr tolerančního pole přímosti osy 0,06 mm.



Obr. 59 Předpis tolerance přímosti v závislosti na skutečném rozměru [2]

Kontrola tvaru válce a správného rozměru je možné zkontrolovat válcovou dutinou (kalibrem) s virtuálním průměrem daným součtem průměru válce na maximum materiálu a průměru tolerančního pole.

Při rozměru válce na minimum materiálu (obr. 59c) bude průměr válce shodný s dolním mezním rozměrem 39,84 mm, a proto může být předepsaný průměr tolerančního pole přímosti osy zvětšen o rozdíl mezi horním a dolním mezním rozměrem tj. 0,16 mm.

$$\Rightarrow 0,06 + 0,16 = 0,22 \text{ mm}$$

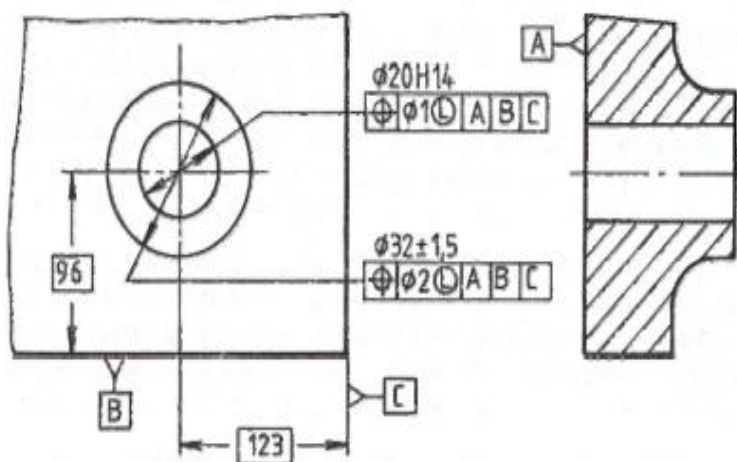
Kontrola rozměru i tvaru válce probíhá opět stejným kalibrem s válcovou dutinou o průměru 40,060 mm. Skutečný rozměr válce je potřeba kontrolovat dvoubodovým měřením, zda-li nepřekračuje úchytky rozměrové tolerance.

V největší většině případů se ale setkáme s případy, kdy se bude skutečný průměr válce nacházet mezi horní a dolní úchytkou, kdy ale stejně výslednou kontrolu provádíme válcovou dutinou o virtuálním průměru 40,060 mm.

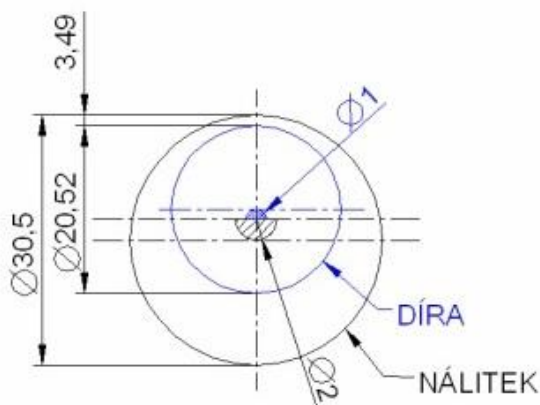
Obdobně jako u podmínky maxima materiálu dovoluje i podmínka minima materiálu zvětšení geometrické tolerance při nevyužití tolerance rozměrové. Tato podmínka je často využívána k zajištění minimální tloušťky stěny. Předpis podmínky minima materiálu je označen písmenem L se stejným použitím jako u maxima materiálu. [2, 11]

Na obr. 60 je nakreslena část odlitku s nálitkem $\varnothing 32$ mm s vyvrtanou dírou $\varnothing 20$ mm s předpisem podmínky minima materiálu k tolerovanému prvku.

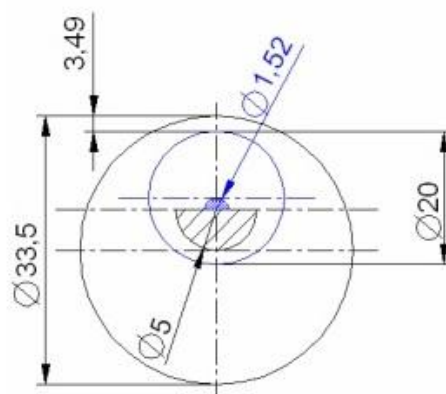
Z předpisu vyplývá, že pokud budou rozměry nálitku a díry na minimu materiálu (obr. 61), musí být dodržen rozměr tolerančního pole tj. $\varnothing 2$ mm tolerančního pole umístění osy nálitku a $\varnothing 1$ mm osy díry. Z obr. 61 je zřejmé, že při rozměrech nálitku i díry na minimu materiálu a při největším vzájemném vyosení obou prvků (vyosení nálitku 1 mm a vyosení díry 0,5 mm) je tloušťka stěny 3,49 mm $\Rightarrow (15,25 - 1 - 0,5 - 10,26 = 3,49$ mm).



Obr. 60 Předpis podmínky minima mat. pro umístění díry a nálitku [2]



Obr. 61 Tol.pole osy díry a osy nálitku, pokud jsou obě na min. materiálu



Obr. 62 Tol.pole osy díry a osy nálitku, pokud jsou obě na max. materiálu

V druhém mezním případě, jsou rozměry obou prvků na maximu materiálu (obr. 62). Toleranční pole bylo zvětšeno o rozdíl mezi hodnotou na minimu materiálu a hodnotou na maximu materiálu každého z prvků. Toleranční pole umístění nálitku může mít $\varnothing 5$ mm ($2 + 3 = 5$ mm) a toleranční pole umístění díry 1,52 mm ($1 + 0,52 = 1,52$ mm).

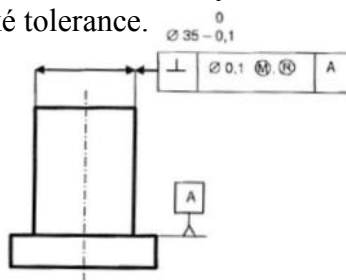
Z obr. 62 je zřejmé, že při rozměrech obou prvků na maximum materiálu a největším vzájemném vyosení bude tloušťka stěny 3,49 mm ($16,75 - 2,5 - 0,76 - 10 = 3,49$ mm). Stejně jako u podmínky maxima materiálu je potřeba i u podmínky minima materiálu dvoubodovým měřením ověřit, že nedochází k překračování rozměrových tolerancí.

2.6.3 Podmínka reciprocity

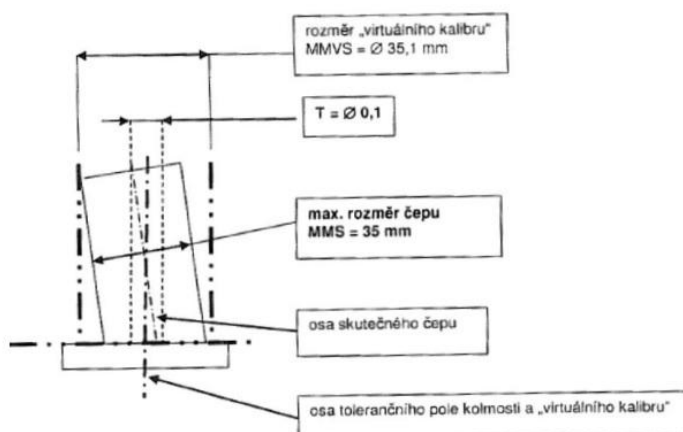
Tato podmínka pro maximum nebo minimum materiálu, vycházející z normy ČSN EN ISO 2692, nám umožňuje změnu mezního rozměru součásti v závislosti na geometrické toleranci. Horní nebo dolní mez rozměrové tolerance může být překročena, pokud není využita podmínka maxima materiálu nebo minima materiálu. Předpis podmínky reciprocity je vpisován do tolerančního rámečku jako písmeno R v kroužku za požadavkem maxima nebo minima materiálu. [11]

Požadavek reciprocity u maxima materiálu:

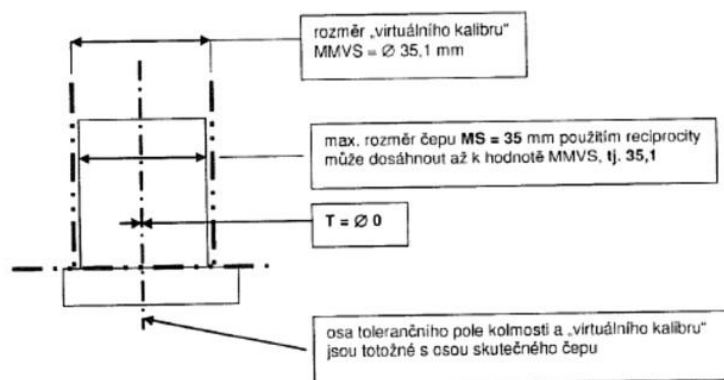
Tento požadavek dovoluje zvětšit rozměrovou toleranci, jestliže není úchytkou geometrické tolerance využito možnosti rozšíření až do meze podmínky maxima materiálu. Příklad předpisu je vidět na obr. 63. Vysvětlení je zřetelné z obr. 64 a obr. 65, kde je u obou případů ke kontrole dílu použit kalibr s rozměrem odvozeným od rozměru čepu na maximum materiálu a maximálním využití geometrické tolerance.



Obr. 63 Příklad tolerovaného čepu [11]



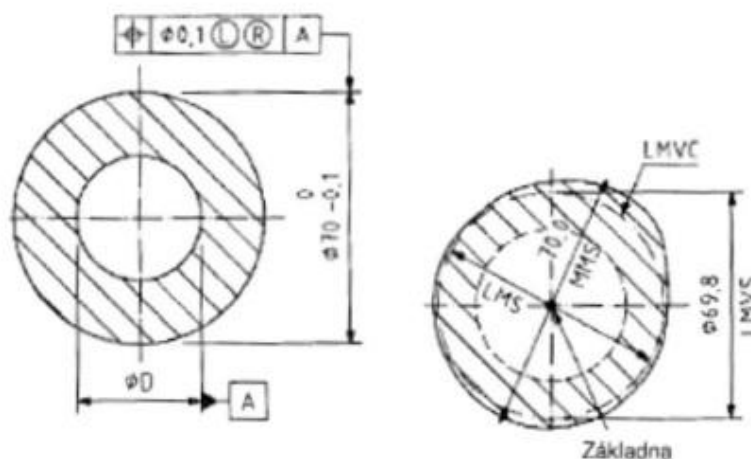
Obr. 64 Plné využití geom. tolerance a maxima materiálu [11]



Obr. 65 Plné využití reciprocity na maximu materiálu [11]

Požadavek reciprocity u minima materiálu:

Tato podmínka umožňuje zvětšení rozměrové tolerance, pokud úchytkou geometrické tolerance není plně využito rozšíření až do meze podmínky minima materiálu. Na obr. 66 je vidět, že může dojít k dalšímu snížení rozměrové tolerance o 0,1mm, pokud geometrická tolerance nebude využívat svého tolerančního pole.

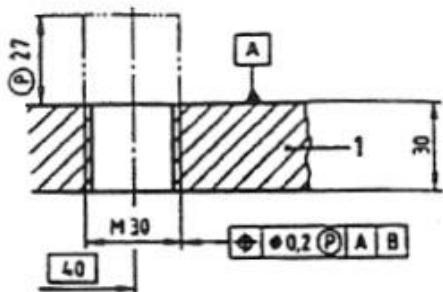


Obr. 66 Vysvětlení reciprocity na minima materiálu [11]

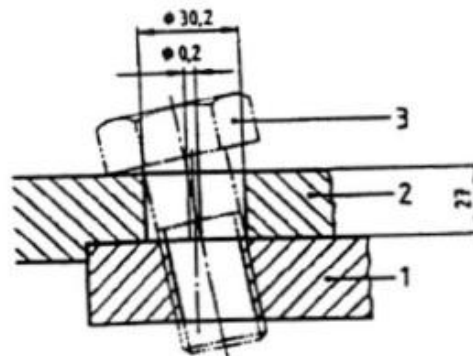
2.6.4 Podmínka posunutého tolerančního pole

Zavedením této podmínky na technických výkresech dochází k zajišťování smontovatelnosti součástí. Toleranční pole, tvořené nejčastěji válcem nebo pravoúhlým rovnoběžnostěnem, je předepsáno v takovém místě mimo posuzovaný prvek, kde je potřeba dodržení dané tolerance vzhledem k zajištění funkce součásti. Posunuté toleranční pole je na výkrese zakreslováno čerchovanou čarou se dvěma tečkami a písmenem P v kroužku před kótou popisující rozměr posunutého tolerančního pole. Zároveň je toto označení vepsáno i do tolerančního rámečku za hodnotu tolerance. [1]

Příklad tohoto předpisu je uveden na obr... Z dalšího obrázku (obr...) je zřejmý výsledek aplikace této podmínky, tedy zajištěná smontovatelnost tolerované součásti (1) spojovacím prvkem (2) spolu s další související součástí (3) při dodržení tolerance umístění osy závitové díry.



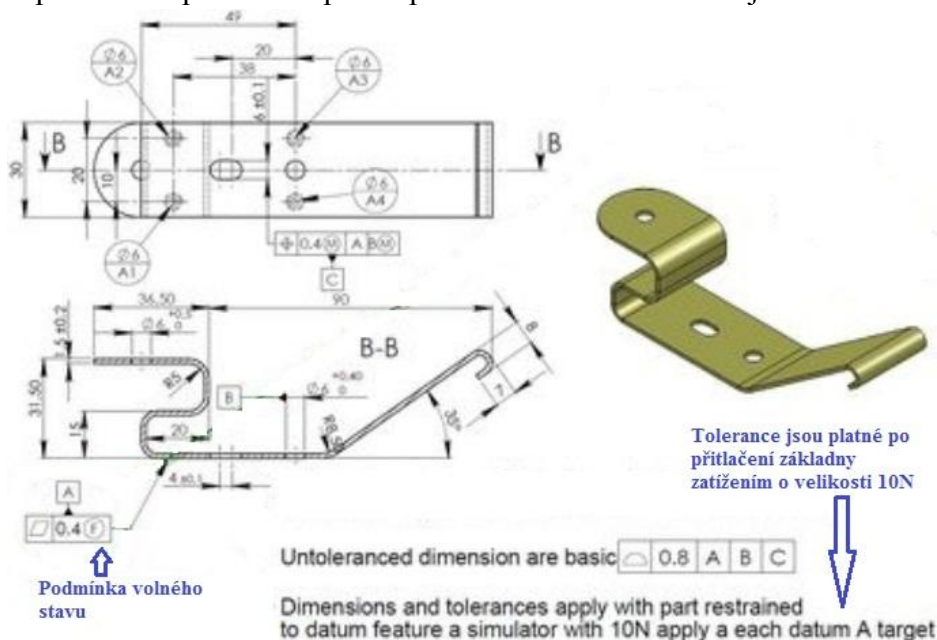
Obr. 67 Předpis posunutého tolerančního pole na výkrese [2]



Obr. 68 Znázornění sestavení za podmínky posunutého pole [2]

2.6.5 Podmínka volného stavu

Tato podmínka je využívána při předpisu geometrických tolerancí pro plastové součásti, plechy a ohebné části. Předepisuje se velkým písmenem F v kroužku do tolerančního rámečku za hodnotu tolerance. Pro možnost měření takových ne zcela tuhých součástí je obvykle na výkrese předepsán požadavek přitlačení právě za podmínky, že alespoň pro jednu plochu je předepsána podmínka volného stavu. Taková plocha je při měření přitlačena na podložku a není tedy možné provést jiné změření než ve volném stavu. Příklad součásti s předpisem požadavku přitlačení spolu s podmínkou volného stavu je znázorněn na obr. 69.



Obr. 69 Aplikace podmínky volného stavu

3 Všeobecné tolerance

Prvky součástí potřebují vzhledem ke své funkci předpis vhodných rozměrových i geometrických tolerancí. V případě překročení takto předepsaných tolerancí by došlo k nesprávné funkci prvku (součásti). Pokud bychom ale tolerance uvedli u všech rozměrů, výkres by byl přeplněn údaji a stával by se tak velice obtížným pro čtení. U prvků, které nepatří z hlediska zajištění funkce k nejdůležitějším, lze tolerance předepsat najednou společným předpisem. Jedná se o tolerance, které jsou stanoveny tak, aby při běžných způsobech výroby nedocházelo k jejich překračování. Pokud ale z hlediska funkce součásti je potřeba u některého prvku menší tolerance než takové, která vychází ze všeobecných tolerancí, je potřeba u takového prvku předepsat individuální předpis tolerance. [1]

Použití všeobecných geometrických tolerancí je výhodné hned z několika hledisek. Výkresy se stávají přehlednější a usnadňují komunikaci s výrobou. Z výkresu je také velice rychle čitelné, jaké prvky součásti lze vyrobit obvyklými výrobními postupy a u kterých je zapotřebí využití složitějších. Kontrola takových součástí s použitím všeobecných tolerancí není náročná a i při případném překročení takovéto tolerance se ihned nemusí jednat o součást, u které by tato odchylka musela znamenat chybnou funkci. Nemusí být proto tedy automaticky vyřazena. [1]

Přesnost ISO 2768-mK	
Tolerování ISO 8015	
Promítání	

Obr. 70 Předpis všeobecných tolerancí

Předpis všeobecných geometrických tolerancí vychází z normy ČSN ISO 2768-2, všeobecné rozměrové tolerance vč. tolerancí úhlových rozměrů vychází z normy ČSN ISO 2768-1. Platné jsou ale pouze tehdy, když je na ně odkázáno předpisem v popisovém poli výkresu součásti např. ISO 2768 – mK (obr. 70), kde jsou všeobecné geometrické tolerance předepisovány společně s nepředepsanými tolerancemi délkových a úhlových rozměrů. Ty mají rozdělené do čtyř tříd a označeny jsou písmeny malé abecedy: f – jemná třída, m – střední třída, c – hrubá třída a v – velmi hrubá třída. Všeobecné mezní úchytky délkových a úhlových rozměrů jsou uvedeny v tabulkách 1, 2 a 3. [1]

Rozměry v mm

Třída přesnosti		Mezní úchytky pro základní rozsah rozměrů							
Označení	Název	0,5 ¹⁾ do 3	přes 3 do 6	přes 6 do 30	přes 30 do 120	přes 120 do 400	přes 400 do 1000	přes 1000 do 2000	přes 2000 do 4000
f	jemná	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	–
m	střední	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
c	hrubá	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4
v	velmi hrubá	–	±0,5	±1	±1,5	±2,5	±4	±6	±8

¹⁾ U jmenovitého rozměru pod 0,5 mm se mezní úchytky předepíše za odpovídající jmenovitý rozměr.

Tab. 2 Mezní úchytky délkových rozměrů kromě zkosení hran [14]

Rozměry v mm

Třída přesnosti		Mezní úchytky pro základní rozsah rozměrů		
Označení	Název	0,5 ¹⁾ do 3	přes 3 do 6	přes 6
f m	jemná střední	±0,2	±0,5	±1
c v	hrubá velmi hrubá	±0,4	±1	±2

¹⁾ U jmenovitého rozměru pod 0,5 mm se mezní úchytky předepíše za odpovídající jmenovitý rozměr

Tab. 3 Mezní úchytky zkosení a zaoblení hran [14]

Třída přesnosti		Mezní úchytky úhlu pro rozsah délek jeho kratšího ramene v mm				
Označení	Název	do 10	přes 10 do 50	přes 50 do 120	přes 120 do 400	přes 400
f	jemná	±1°	±0°30'	±0°20'	±0°10'	±0°5'
m	střední					
c	hrubá	±1°30'	±1°	±0°30'	±0°15'	±0°10'
v	velmi hrubá	±3°	±2°	±1°	±0°30'	±0°20'

Tab. 4 Mezní úchytky úhlových rozměrů [14]

Z hlediska přesnosti jsou v normě pro všeobecné geometrické tolerance uvedeny tři třídy, které se označují písmeny velké abecedy: H – nejpřesnější třída, K – střední třída a L – hrubá třída. Všeobecné geometrické tolerance jsou platné pro geometrické tolerance přímosti, rovinnosti, kruhovitosti, rovnoběžnosti, kolmosti, souměrnosti a kruhového házení (obvodového, čelního a v libovolném směru). Jednotlivé tolerance jsou uvedeny v tabulkách 5, 6, 7 a 8.[1]

Rozměry v mm

Třída přesnosti	Tolerance přímosti a rovinnosti pro rozsah jmenovitých délek					
	do 10	přes 10 do 30	přes 30 do 100	přes 100 do 300	přes 300 do 1000	přes 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

Tab. 5 Všeobecné tolerance přímosti a rovinnosti [15]

Rozměry v mm

Třída přesnosti	Tolerance kolmosti pro rozsah jmenovitých délek kratší strany			
	do 100	přes 100 do 300	přes 300 do 1000	přes 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

Tab. 6 Všeobecné tolerance kolmosti [15]

Rozměry v mm

Třída přesnosti	Tolerance souměrnosti pro rozsah jmenovitých délek			
	do 100	přes 100 do 300	přes 300 do 1000	přes 1000 do 3000
H	0,5			
K	0,6		0,8	1
L	0,6	1	1,5	2

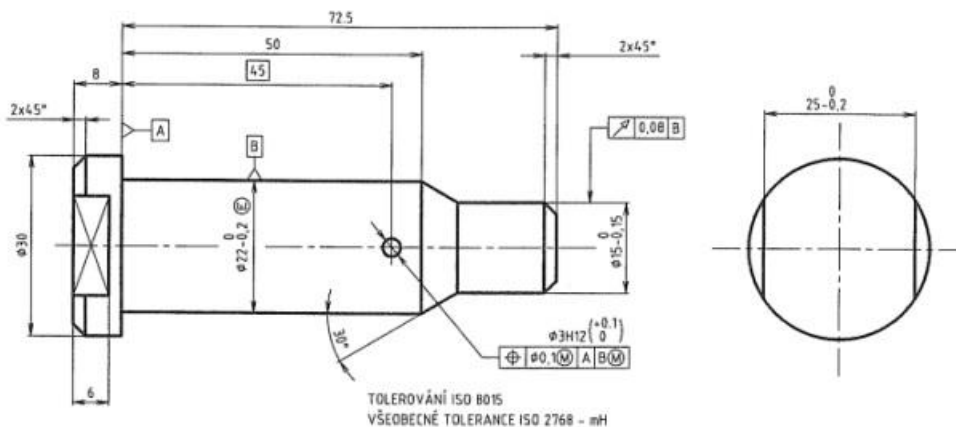
Tab. 7 Všeobecné tolerance souměrnosti [15]

Rozměry v mm

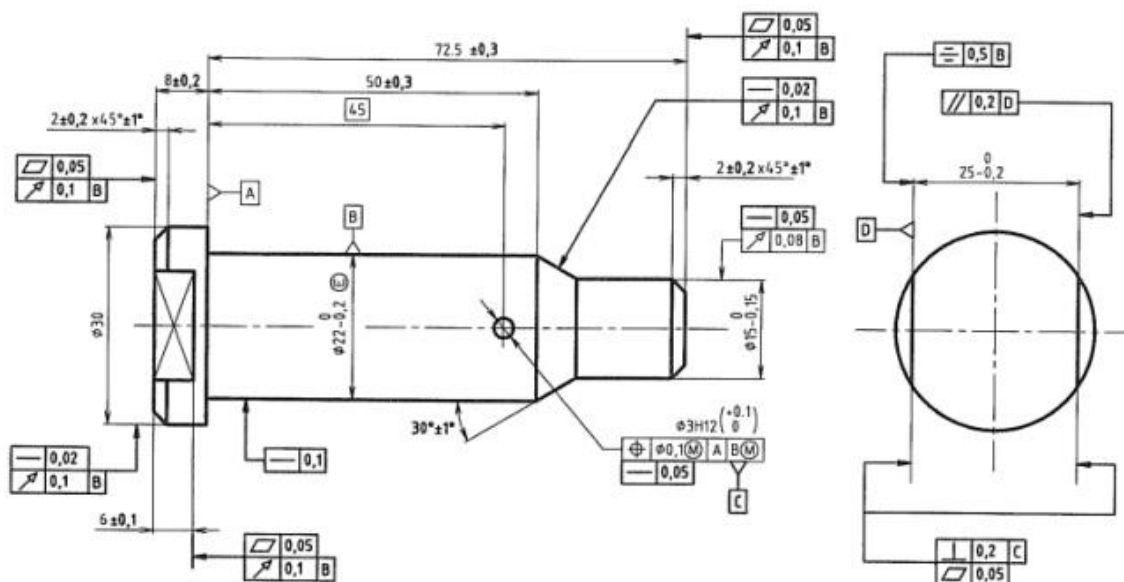
Třída přesnosti	Tolerance kruhového házení
H	0,1
K	0,2
L	0,5

Tab. 8 Všeobecné tolerance kruhového házení [15]

Na příkladu níže je výkres součásti s předpisem všeobecných tolerancí spolu se znázorněním jejich výkladu (obr. 71 a obr. 72). Z těchto obrázků je zřetelná přehlednost a čitelnost výkresu při používání všeobecných tolerancí.



Obr. 71 Součást zakótována s použitím všeobecných tolerancí [15]



Obr. 72 Součást se zobrazením všeobecných tolerancí [15]

4 Měření geometrických tolerancí

4.1 Měření úchylek tvaru

4.1.1 Měření úchylky přímosti

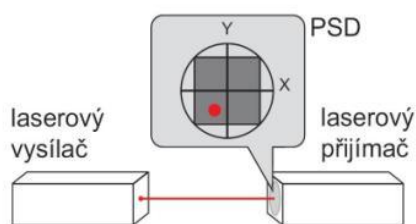
Úchylkou přímosti se rozumí největší vzdálenost skutečné přímky od obalové přímky v délce měřeného úseku.

K měření úchylky přímosti se většinou používají jednoduché přístroje nebo jejich různé kombinace, souřadnicové zařízení nebo optické přístroje. Jedním z nejjednodušších přístrojů pro měření přímosti rovinných ploch, nejčastěji v dílenských podmínkách, je vlasové pravítko. Při kontrole přímosti je pravítko přikládáno k měřené ploše a nastavením proti světlu nám pod hranou pravítka prosvítají paprsky, které poukazují na nerovnosti. Tato metoda dokáže pouze přímost kontrolovat, ne měřit.

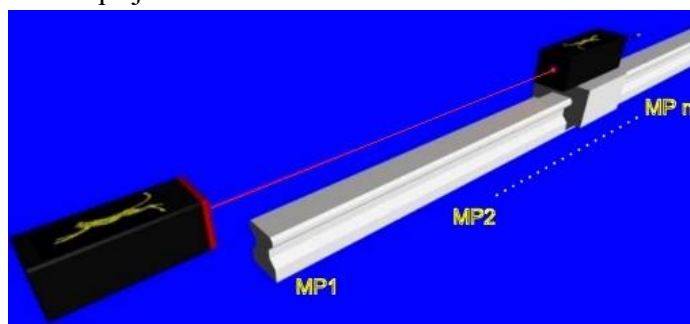
Mezi jednu z nejpřesnějších a nejmodernějších měření patří měření přímosti laserovým paprskem. Přístroj **Gepard** od firmy Raytec pracuje s laserovým paprskem, kdy zjišťuje odchylky měřeného předmětu od přímého světelného paprsku. Tímto přístrojem lze měřit například úchylky přímosti podél nosníků, různých rovinných drážek, ploch nebo lineárních vedení.

Měření tímto přístrojem probíhá tak, že se laserový vysílač umístí na počátek měřeného úseku a paprskem se zaměří senzor laserového přijímače. Paprsek je nutné zaměřit na geometrický střed senzoru a tím nastavit referenční etalon přímosti (obr. 73). Samotné měření probíhá posouváním přijímače k předem zvoleným bodům v přímém směru (např. podél lineárního vedení) k vysílači (obr. 73). U každého z těchto bodů je měřena poloha dopadu laserového paprsku. Pomocí bezdrátového přenosu dat jsou naměřená data přenášena do PC, kde jsou dále zpracovávána do grafu. Software proloží metodou nejmenších čtverců naměřenými body referenční přímku, kterou zobrazí v grafu jako osu X a na ose Y zobrazí kladné i záporné naměřené odchylky. Tato metoda zobrazuje úchylky přímosti od vypočtené střední čáry zjištěného profilu, což je možný způsob měření a není v rozporu s teoretickým hlediskem výkladu přímosti.

Přesnost měření je u tohoto typu měření nejvíce ovlivňována prostředím, ve kterém laserový paprsek prochází. Při měření na velkých vzdálenostech může paprsek procházet prostředím s rozdílnou hustotou a prouděním vzduchu, což může mít za následek lomení paprsku nebo pohyb dopadajícího paprsku na přijímači.



Obr. 73 Znáznornění měření přístrojem Gepard [16]



4.1.2 Měření úchytky rovinnosti

Úchytkou rovinnosti se rozumí největší vzdálenost skutečné roviny od obalové roviny. Obalová rovina se dotýká zjištěné plochy v těchto případech:

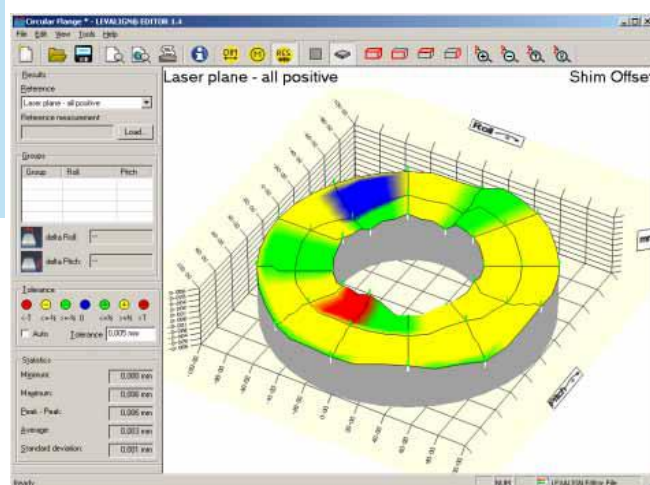
- Obalová rovina se dotýká zjištěného tvaru plochy ve třech nejvyšších bodech (vydutá plocha)
- Obalová rovina se dotýká zjištěného tvaru v jednom nejvyšším bodě a je rovnoběžná s rovinou, která prochází třemi nejnižšími body (vypuklý tvar plochy)
- Obalová rovina se dotýká zjištěného tvaru plochy ve dvou nejvyšších bodech a je rovnoběžná se spojnicí dvou nejnižších bodů

Měření rovinnosti lze realizovat použitím měření úchytek přímosti v různých směrech na měřeném povrchu, kdy je za odchylku rovinnosti považována největší úchytky přímosti v některém z řezů. V některých případech jsou rovnou na místo geometrické tolerance rovinnosti na součásti předepsány geometrické tolerance přímosti v podélném, příčném a úhlopříčném směru.

K měření rovinnosti slouží i souřadnicový měřicí přístroj **Levalign Ultra** od firmy Lumikappa (obr. 74). Tímto přístrojem lze dokonale změřit rovinnost povrchů na různých strojích a součástech, rovinnost dosedacích ploch dělicích rovin u skříní převodovek nebo například kruhové či obdélníkové příruby. Měření s tímto přístrojem probíhá tak, že je obsluhou umístován na kontrolované ploše na několik pozic. Na těchto pozicích je změřen nekonečný počet bodů laserovým senzorem. Tato změřená síť bodů je následně pomocí bezdrátového přenosu bluetooth přenášena do PC, kde software vytváří 2D nebo 3D zobrazení měřené roviny (obr. 75). V zobrazení jsou vidět změřené úchytky rovinnosti mezi obalovou rovinou a rovinou skutečného povrchu, což představuje i shodu s požadavkem teoretické definice rovinnosti.



Obr. 74 Přístroj k měření rovinnosti Levalign Ultra [17]



Obr. 75 Zobrazení měřené roviny [17]

4.1.3 Měření úchylek kruhovitosti

Úchylkou kruhovitosti se rozumí největší naměřená kolmá vzdálenost od obalové kružnice.

Jednou z nejpresnějších metod měření kruhovitosti je metoda měření změn poloměru. Toto měření kruhovitosti se provádí na speciálních přístrojích, kdy se buď vřetenem otáčí a měřená součást stojí nebo opačně, měřená součást se na otočném stole otáčí a snímač stojí.

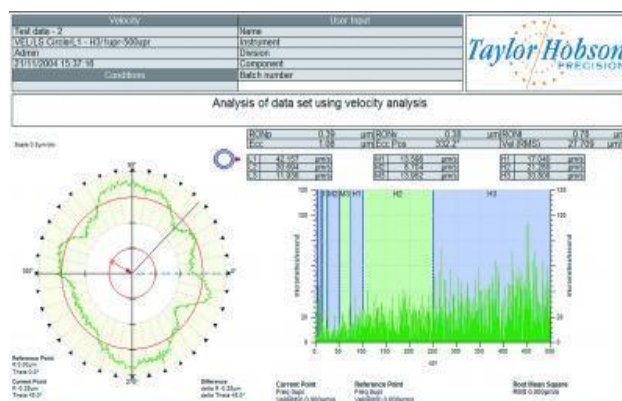
Mezi jeden z nejmodernějších přístrojů pro měření kruhovitosti metodou změn poloměru vzhledem k rotační základně je multifunkční měřicí zařízení **Talyrond řady 500** od společnosti Taylor Hobson (obr. 76). Dotykovou sondou přístroje je snímáno velké množství bodů na obvodu součásti a kruhovitosť je vypočítána vzhledem ke středu součásti. Software následně vykreslí výsledky měření spolu s histogramem úchylek kruhovitosti (obr. 77). Vykreslením výsledků je grafický záznam skutečného povrchu vzhledem ke středu součásti spolu s referenční kružnicí.

Vzhledem k tomu, že je touto metodou umožněno snímání skutečného povrchu kontrolované součásti, úchylna kruhovitosti je stanovena v souladu s teoretickým výkladem kruhovitosti.

Kromě prostředí měření a správného seřízení stroje je podstatnou částí pro získání správných výsledků i ustavení kontrolované součásti ve stole měřicího zařízení. Zvláště potom na upnutí součásti musí být věnována velká pozornost. Musí být dosaženo soustřednosti os měřené součásti a stolu zařízení.



Obr. 76 Přístroj k měření kruhovitosti Talyrond 500 [18]

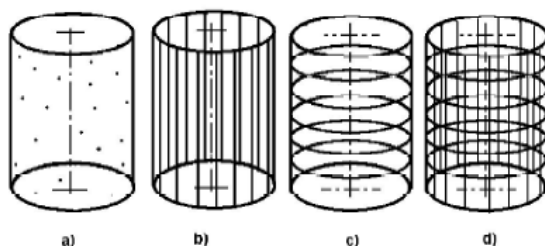


Obr. 77 Zobrazení výsledků měření kruhovitosti [18]

4.1.4 Měření úchylek válcovitosti

Úchylkou válcovitosti se rozumí největší vzdálenost mezi válcem skutečným a válcem obalovým. Úchylka válcovitosti je úchylkou, která v sobě skrývá úchylku kruhovitosti, přímosti povrchových přímk a rovnoběžnosti povrchových přímk s osou obalového válce.

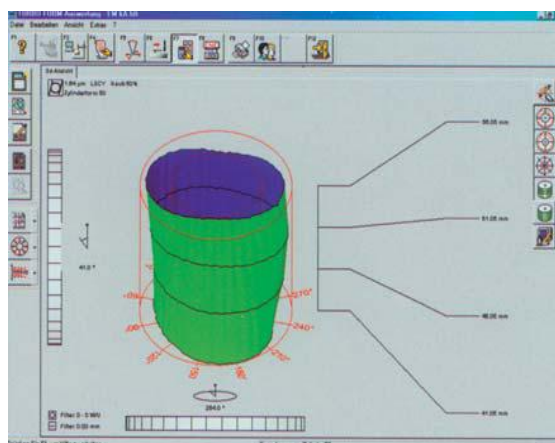
K měření válcovitosti je normou ISO 12180-2 povoleno použití metody bodové, metody povrchových přímk nebo metody příčných řezů v případě, že není možné použití metody klece, ve které se kombinují metody povrchových přímk a příčných řezů (obr. 78). Samostatně tyto metody neposkytují takové množství informací jako metoda klece.



Obr. 78 Znázornění měřících metod dle ISO 12180-2 [21]

Měření je nejčastěji prováděno na souřadnicových měřících strojích nebo přístrojích na měření odchylek tvaru. Jedním z těchto měřících přístrojů pro měření válcovitosti je **Hommel Tester Form 1004** (obr. 79). Tento přístroj má plně automatizované středění součásti po jejím upevnění do upínacího sklíčidla na měřicím stole, díky kterému součást přesně vycentruje. Nevystředění součásti by mělo za následek obvodové házení vůči čelu součásti, což by mělo velký vliv na výsledky měření.

Při měření dojde k roztočení součásti v otočném stole a pomocí motorického modulu se provede plně automatizované axiální i radiální měření skutečného povrchu kontrolované součásti. Software vykreslí 3D model skutečného povrchu součásti, ze kterého lze vyčíst úchylky válcovitosti. Jedná se o obdobu měření kruhovitosti s přidáním axiálního posuvu. Výsledky získávané touto metodou měření jsou ve shodě s teoretickou definicí válcovitosti.



Obr. 79 Přístroj pro měření válcovitosti Hommel Tester Form 1004 spolu se znázorněním výsledků [19]

4.2 Měření úchylek směru

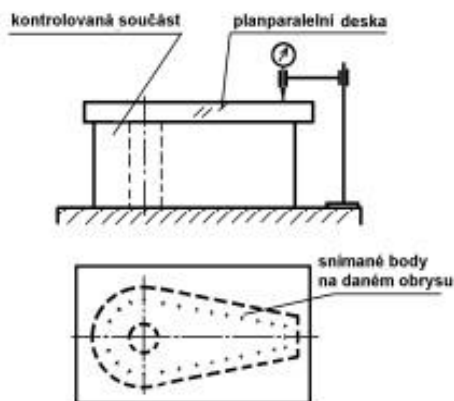
4.2.1 Měření úchylek rovnoběžnosti

Úchylkou rovnoběžnosti se rozumí vzdálenost mezi dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou zároveň rovnoběžné se základnou.

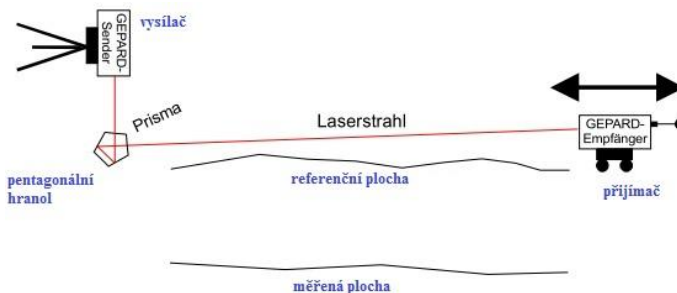
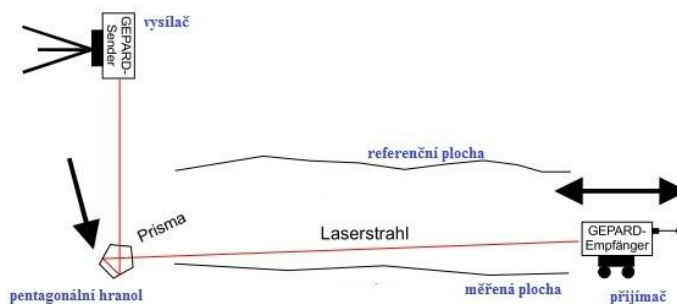
Měření rovnoběžnosti dvou rovin je možné provádět například pomocí délkového měřidla. Součást se položí základnou na průměrnou desku a na kontrolovanou plochu se položí planparalelní deska. Pomocí číselníkového úchylkoměru ve stojánku se na desce naměří potřebný počet bodů (obr. 80), z jejichž hodnot se určí úchylka rovnoběžnosti. Použití planparalelní desky jako obalové plochy ale neodpovídá definici obalového prvku. Chyby, které vzniknou tímto použitím, jsou zahrnuty v celkových chybách měření.

K měření rovnoběžnosti dvou rovin je také možné využít přístrojů k měření přímosti, využívajících k měření laserových paprsků. K tomuto měření lze vhodně použít přístroj **Gepard** (obr. 81), již popsaný při měření přímosti. Při měření se laserový vysílač umístí kolmo k měřené součásti a pomocí pentagonálního hranolu se paprsek odklání o 90° nejprve na referenční plochu a následně na kontrolovanou plochu (obr. 81). Další postup měření se shoduje s měřením přímosti. Tato metoda měření je v souladu s teoretickým výkladem rovnoběžnosti.

K měření rovnoběžnosti lze využívat zaměřovacích dalekohledů, nebo pohodlně také využívat souřadnicové měřicí přístroje, kde je navíc oproti popsané metodě možnost měřit úchylky rovnoběžnosti os (přímek) s rovinami nebo dvou přímek v prostoru.



Obr. 80 Měření rovnoběžnosti pomocí úchylkoměru [21]



Obr. 81 Měření rovnoběžnosti přístrojem Gepard [16]

4.2.2 Měření úchylek kolmosti

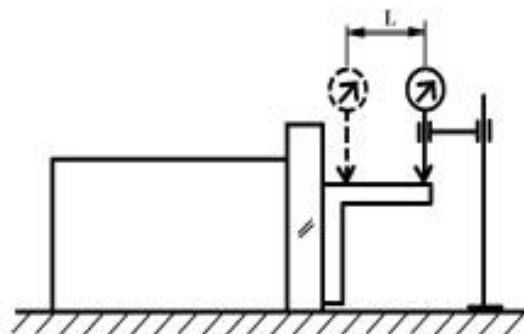
Úchylka kolmosti může být popsána jako vychýlení úhlu mezi rovinami od pravého úhlu.

Kontrolovat úchylky kolmosti lze v dílenských podmínkách použitím jednoduchých nástrojů např. úhelníků (obr. 82), které lze přímo přikládat k měřenému objektu. Úchylku kolmosti je možné ihned vidět při nastavení proti světlu.

Pro změření úchylky kolmosti dvou rovin je možné použít uspořádání dle obr. 83 za pomoci úhelníku a úchylkoměru. Kontrolovaná součást se uloží základnou na průměrnou desku a na plochu, která má být kontrolována, je přiložena planparalelní deska spolu s úhelníkem, na jehož rameni jsou proměřeny dva body. Úchylka kolmosti se určí rozdílem naměřených hodnot dvou bodů v rozsahu měřené délky. Použitím planparalelní desky jako obalové plochy je zanedbána rovinnost kontrolované plochy. V případě, že planparalelní deska nebude při měření použita, obalovou plochu vytvoří plocha úhelníku, což způsobí stejný efekt. Při měření úchylek kolmosti touto metodou je tato chyba zohledněna v celkových chybách měření. Pomocí této metody lze měřit pouze úchylky od kolmosti dvou rovin.



Obr. 82 Úhelníky pro měření kolmosti [21]



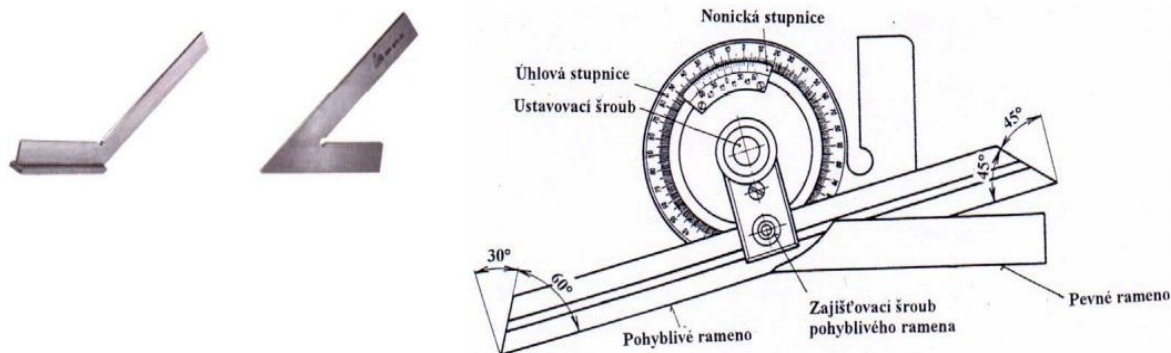
Obr. 83 Měření kolmosti pomocí úchylkoměru a úhelníku [21]

Pro měření úchylek kolmosti přímky s rovinou popř. dvou přímek (os) je vhodné použití souřadnicových měřících přístrojů. Na těchto zařízeních lze změřit polohu os hřídelí nebo děr v součástech a stanovit jejich úchylku kolmosti od základny. Odpadá navíc nutnost použití úhelníků, pravítek či jiných součástí pro vytvoření obalového prvku.

4.2.3 Měření úchylek sklonu

Úchylka sklonu představuje vychýlení kontrolovaného prvku v tolerančním poli omezeném dvěma rovinami svírajícími se základnou jmenovitý úhel.

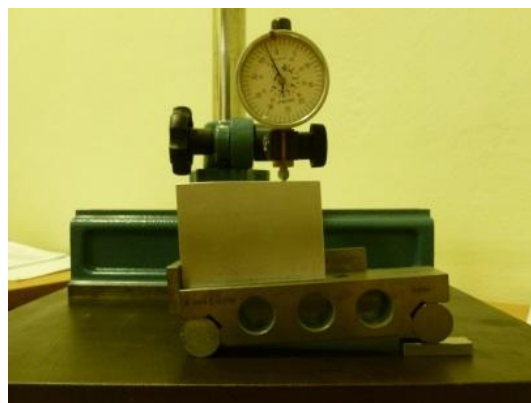
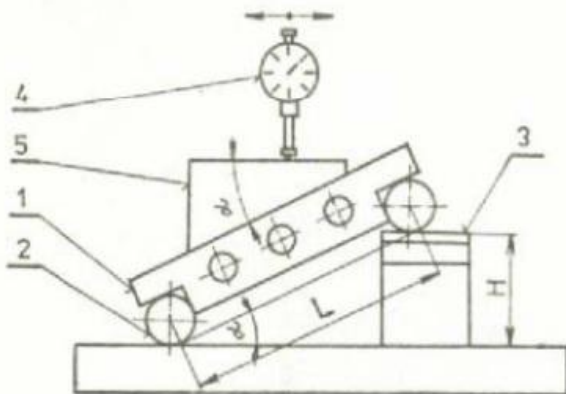
Ke kontrole jiného úhlu než 90° jsou v dílenských podmínkách používány speciální úhelníky pro kontrolu různých úhlů (obr. 84). Hojně jsou používány i obloukové a univerzální úhlooměry. Při těchto kontrolách je ale zanedbávána rovinnost kontrolovaných ploch.



Obr. 84 Úhelník a úhloměr pro měření sklonu [21]

Měření úhlu sklonu je možné provést pomocí sinusového pravítka (obr. 85). Jedná se nepřímou metodu měření úhlů založenou na trigonometrických funkcích. Je to přesně broušená destička, která má na obou koncích upevněny válečky o stejném průměru. Pravítka jsou normalizována a jejich provedení se liší podle charakteru měřené součásti. Měření probíhá tak, že se pravítko o známé délce L položí jedním válečkem na rovnou desku a pod váleček na druhém konci pravítka se vkládají základní měřky. Skutečná hodnota kontrolovaného úhlu se zjistí tak, že se úchylkoměrem přejíždí po horní ploše kontrolované součásti. Pokud nedojde k výchylce na úchylkoměru, bylo měrkami dosaženo správného nastavení výšky H . Ze vztahu $H = L \times \sin \alpha$ se vypočte hodnota úhlu kontrolované plochy. Použitím pravítka jako obalové plochy vzniká u této metody stejná chyba měření, jako bylo popsáno u uměření kolmosti.

Měření úchylky sklonu lze pohodlně realizovat i na souřadnicových měřicích strojích. Stejně jako u měření úchylek kolmosti je i v tomto případě tato metoda vhodná k použití k měření úchylek sklonu u roviny a osy nebo dvou os. Takových tolerančních předpisů bývá použito například při tolerování sklonu os děr v součástech.



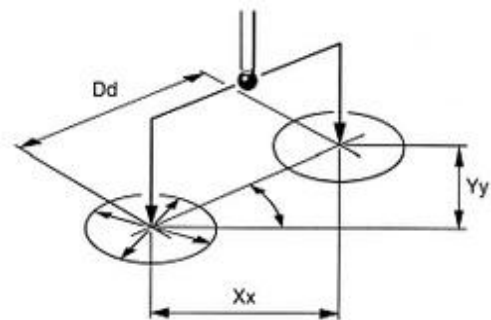
Obr. 85 Měření sklonu pomocí sinusového pravítka [21]

4.3 Měření úchylek umístění

4.3.1 Měření úchylek polohy

Úchylku polohy představuje odchýlení od přesných rozměrů prvku vzhledem k jednotlivým základnám, ke kterým je toleranční pole polohy vztaženo.

K měření úchylek polohy se používají souřadnicové měřicí přístroje. Jedním z takových přístrojů je i **TESA MICRO HITE 3D DCC-I M8 454** (obr. 86) od švýcarské firmy TESA SA. Základním principem těchto zařízení je stanovení souřadnic bodů prvku, na kterém je prováděno měření. Z těchto souřadnic měřených bodů následně již software generuje povrchy součásti. To je možné díky schopnosti matematického rozkladu takovýchto povrchů na jednotlivé geometrické prvky (přímky, plochy, roviny). K snímání jednotlivých bodů součásti dochází ručním nebo automatickým pohybem měřicí hlavou, kdy při doteku měřicí sondy s povrchem součásti dojde k vyslání elektrického signálu do řídicího systému. Na obr. níže je znázorněno měření vzdálenosti sondou mezi dvěma měřenými prvky na součásti. Měření úchylek polohy na souřadnicových přístrojích je v souladu s teoretickým výkladem tolerance polohy.



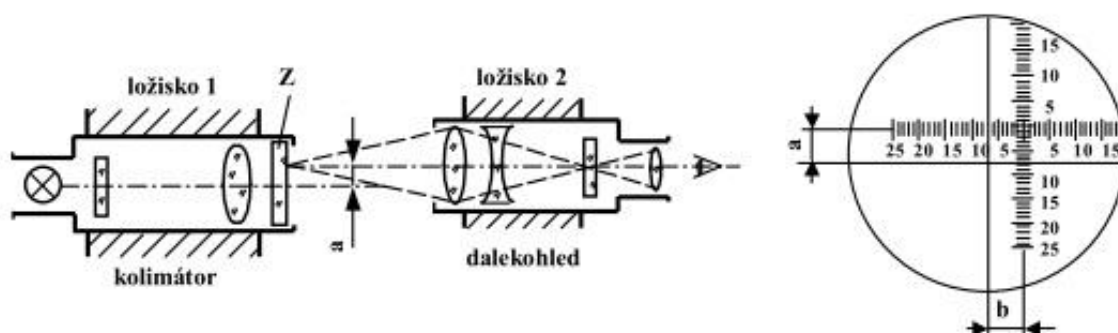
Obr. 86 Souřadnicový měřicí přístroj pro měření polohy [20]

4.3.2 Měření úchylek sousosti a soustřednosti

Úchylkou sousosti může být vzdálenost mezi osou kontrolované rotační plochy a osou základní plochy, nebo společné osy na délce vztažného úseku.

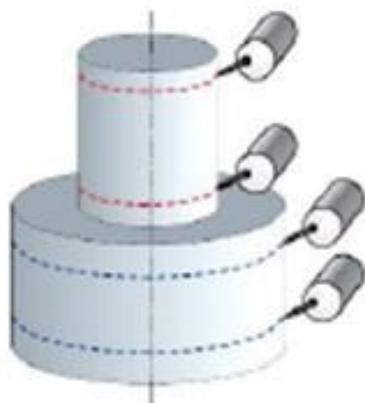
Úchylka soustřednosti představuje vychýlení středu tolerované kružnice od středu kružnice základní.

K měření úchylek sousosti dvou otvorů lze využívat měření kolimátorem s dalekohledem. Jeden z otvorů se osadí kolimátorem s křížovou stupnicí. Z druhého se následně provede zaměření kolimátoru dalekohledem. Úchylka sousosti je čitelná dalekohledem v zorném poli na křížové stupnici kolimátoru (obr. 87).

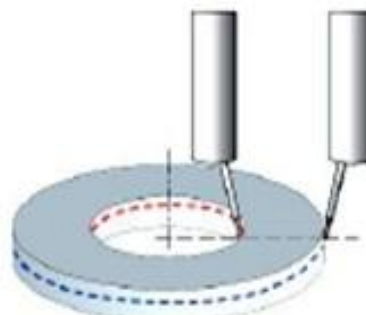


Obr. 87 Měření sousosti pomocí kolimátoru a dalekohledu [21]

Další možnou metodou, která umožňuje měření sousosti i na hřídelích, je metoda měření úchylek na souřadnicovém přístroji. Samostatně se tato metoda většinou neprovádí. Často bývá ale předepisována jako doplňkové měření po měření průměrů (vnějších nebo vnitřních) se společnou osou. Měřicí stroj dokáže po změření těchto průměrů jednoduše vyhodnotit sousost nebo soustřednost (obr. 88 a 89). V zásadě tvoří souřadnicové přístroje nejpoužívanější a metodu pro možné změření výše popsaných úchylek a odpovídající i vzhledem k jejich teoretickému výkladu.



Obr. 89 Průběh snímání bodů při měření sousosti na souřadnicovém přístroji

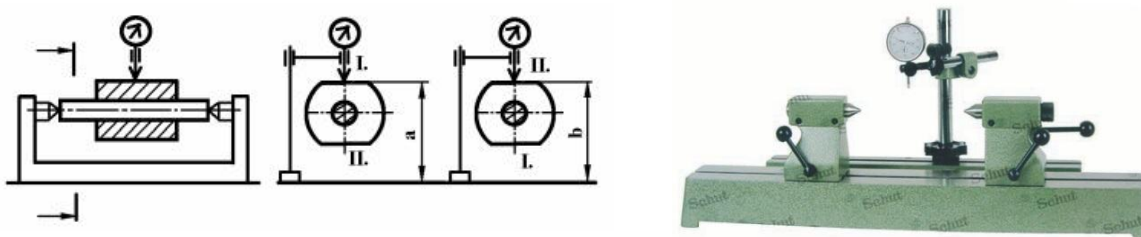


Obr. 88 Průběh snímání bodů při měření soustřednosti na souřadnicovém přístroji

4.3.3 Měření úchylek souměrnosti

Úchylku souměrnosti představuje vzdálenost mezi rovinou souměrnosti kontrolovaného prvku a rovinou souměrnosti základního prvku, nebo společnou rovinou souměrnosti dvou nebo více prvků.

Rotační součásti lze měřit pomocí hrotových přístrojů (obr...). Pro měření musí být ale zajištěna rovnoběžnost kontrolované plochy s osou hrotového přístroje. Kontrolovaná součást musí být pro upnutí vybavena středícími dülky. Úchylkoměrem je změřena nejprve výška jedné strany součásti, následně je součást otočena o 180° a je změřena výška ke druhé straně součásti. Polovina rozdílu naměřených hodnot se rovná úchylce souměrnosti plochy k ose rotace. Tato metoda je ve shodě s teoretickým výkladem souměrnosti.



Obr. 90 Měření souměrnosti pomocí hrotového přístroje [21]

Obr. 91 Kalibr pro kontrolu drážek pro pera na hřídelích [22]



Souměrnost může být jednoduše kontrolována u drážek pro pera na hřídelích. K této kontrole slouží speciální kalibry (obr. 91), které zároveň měří rozměr drážky, hloubku a její souměrnost vůči rovině souměrnosti procházející osou hřídele. Kalibry, od německého výrobce **Schmalkalden**, jsou vyráběny v různých variantách pro měření drážek na rozličných průměrech hřídelí. Každý takový kalibr je určen pro určité rozpětí průměrů, a proto je před samotným měřením zapotřebí kalibr nastavit na patřičný hřídel. Při kontrole drážky se držák kalibru nasadí na hřídel a kalibr se posune až na dno drážky. Při možnosti vložení příslušného kalibru do drážky na hřídeli je zkontrolována i souměrnost této drážky se rovinou souměrnosti procházející osou rotace hřídele.

Jednou z dalších možných metod pro měření úchylek souměrnosti je měření na souřadnicových přístrojích. Změřením dostatečného množství bodů kontrolované součásti a následným vyhodnocením souměrnosti softwarem takového zařízení lze pohodlně určit úchylky souměrnosti ploch, děr nebo drážek i nerotačních součástí.

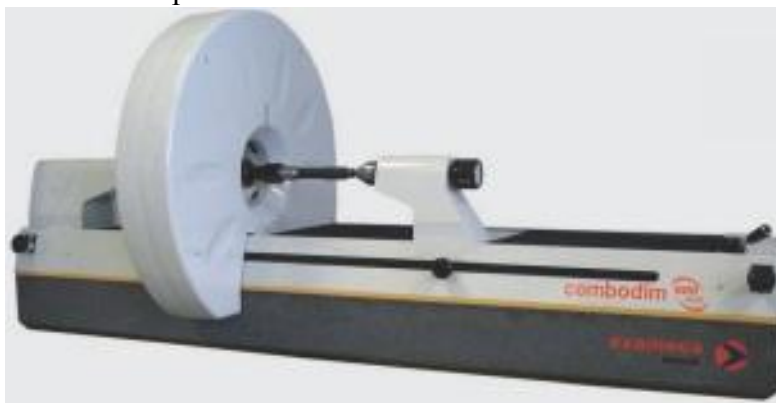
4.4 Měření úchylek házení

4.4.1 Měření úchylek kruhového házení obvodového

Úchylka kruhového obvodového házení je rozdíl největší a nejmenší vzdálenosti bodů kontrolovaného profilu rotační plochy od základní osy v kolmém řezu k této ose.

Měření úchylky je možné v souřadnicových měřicích přístrojích, kde je metoda obdobná s metodami měření sousosti a válcovitosti. Stejně tak lze tuto úchylku jednoduše měřit v hrotovém přístroji číslicovým úchylkoměrem. Součástí se při měření upne mezi hroty a číselníkovým úchylkoměrem se změří házení v několika místech kontrolovaného průměru. Největší naměřené vychýlení úchylkoměru je hodnotou, která odpovídá úchylce kruhového házení. Tato metoda se řadí mezi nejpoužívanější a vzhledem k výkladu obvodového házení je vyhovující.

Úchylka celkového obvodového kruhového házení zahrnuje úchylku obvodového kruhového házení všech bodů kontrolované plochy od základní osy v rozsahu vztažného úseku. Měřicí metoda je obdobnou jako u obvodového házení. Měřidlo ale musí navíc vykonávat ještě přímočarý pohyb ve směru osy válce. Toto měření umožňuje automatický přístroj **Combodim** využívající dotykové sondy nebo optické sondy (obr. 92). Slouží ale jen pro rotační součásti menších průměrů.



Obr. 92 Přístroj Combodim pro měření kruhového házení obvodového [23]

4.4.2 Měření úchylek kruhového házení čelního

Úchylka kruhového házení čelního představuje rozdíl mezi největší a nejmenší vzdáleností bodů kontrolovaného profilu čelní plochy od roviny kolmé k základní ose.

Měření úchylky čelního házení probíhá obdobně jako měření obvodového házení, jen měřidlo snímá čelní profil plochy tj. profil kolmý na osu rotace. Největší naměřená hodnota vychýlení úchylkoměru je úchylkou čelního kruhového házení.

Úchylka celkového čelního házení je rozdílem největší a nejmenší vzdálenosti čelní kontrolované plochy od roviny kolmé k základní ose. Měření snímající úchylku celkového čelního házení musí pak konat pohyb rovnoběžný s čelem měřené součásti. Pro takové měření lze použít automatický přístroj **Unidim** (obr. 93), na kterém lze kontrolovat např. házení a sousosti na klikových hřídelích, vačkových hřídelích nebo ozubených kolech převodovek.



Obr. 93 Přístroj Unidim pro měření kruhového házení čelního [23]

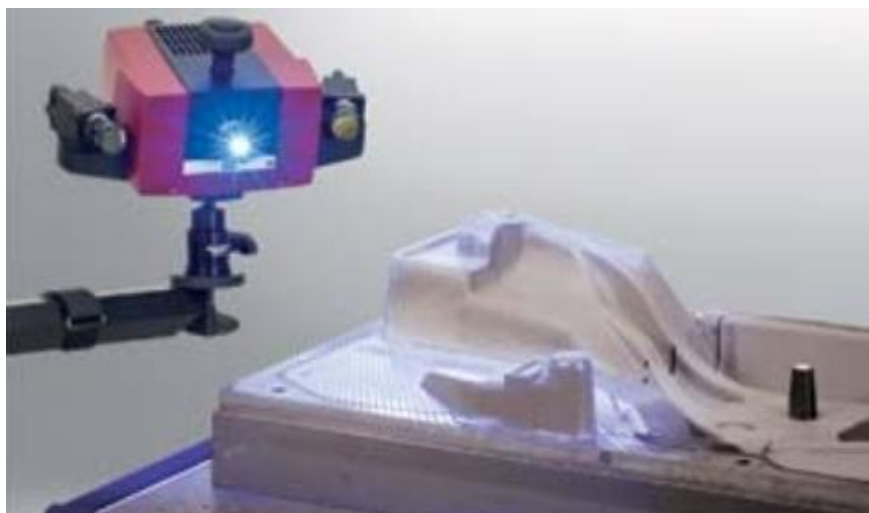
4.5 Měření úchylek profilu čáry a profilu plochy

Úchylka profilu čáry je odchýlení skutečných bodů profilu od přesného tvaru profilu v daném průřezu. Úchylku profilu plochy představuje odchýlení kontrované plochy součásti od přesného tvaru plochy, k němuž se vztahuje tolerance. Toleranční pole těchto tolerancí profilu čáry a plochy mohou být předepsány samostatně nebo ve vztahu k základně či soustavě základů.

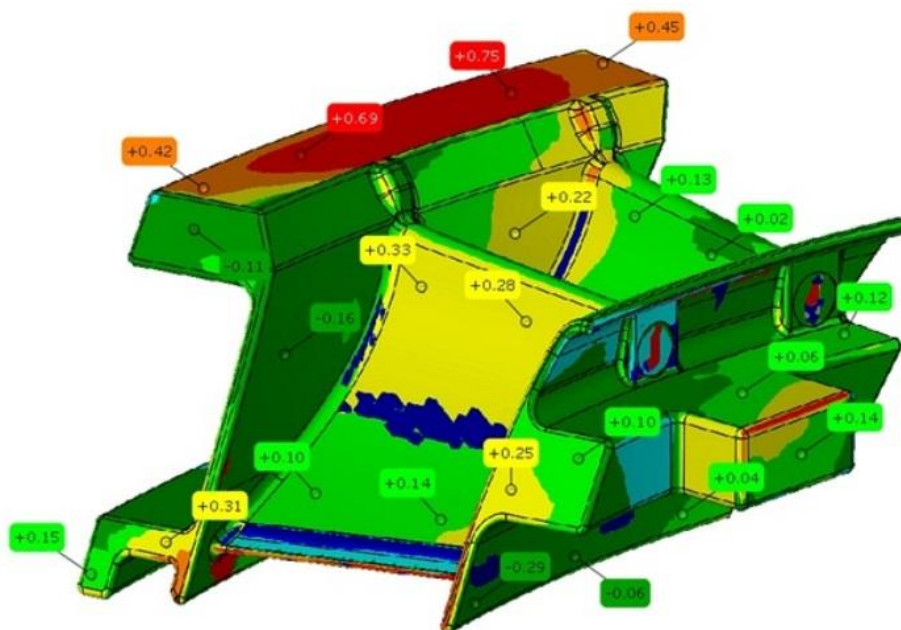
Pro měření těchto úchylek se používají souřadnicové měřicí stroje a bezdotykové měřicí stroje založené na optickém principu.

Takové bezkontaktní přístroje dovedou naskenovat pomocí kamer kontrovanou součást a následně vytvořit její kompletní 3D model. Mezi takové přístroje patří i optický scanner **ATOS Compact Scan 2M** od firmy GOM (obr. 94). Při skenování kontrované součásti je využíváno projekce plošného laserového proužku na její povrch. Dvěma kamerami je snímán tento proužek, který je dopadem na povrch součásti deformován. Podle složitosti a velikosti součásti je někdy zapotřebí s ní i potočit, aby bylo docíleno komplexního prostorového modelu skenované součásti. Model je vytvořen pomocí softwaru, který zpracuje obrovské množství nasnímaných bodů do trojúhelníkových sítí. Takový 3D model je pomocí vyhodnocovacího softwaru porovnán s teoretickým CAD modelem kontrované součásti. Výsledkem tohoto porovnání je barevná mapa součásti s jednotlivými úchylkami (obr. 94). Takový díl lze následně i pomocí softwaru rozřezat a porovnávat i jednotlivé řezy kontrovaných ploch s modelem.

Měření úchylek přístrojem tohoto typu umožňuje komplexní stanovení výsledků pro předepsané tolerance kontrolované součásti. Metoda jejich měření je zcela ve shodě s jejich teoretickým výkladem.



Obr. 94 Optický měřicí přístroj Atos Compact scan 2M [24]



Obr. 95 Výsledná barevná mapa součásti s jednotlivými úchylkami [24]

5 Závěr

Cílem této práce bylo vytvoření průvodce základními znalostmi z geometrického tolerování, přičemž by její obsah měl sloužit jako pomocný studijní materiál pro studenty prvních ročníků pro snadné proniknutí do této problematiky. Skladba této práce byla rozdělena do dvou částí.

Její první část je věnována vysvětlení základních pojmů potřebných pro proniknutí do problematiky geometrického tolerování. Vysvětlení těchto pojmů je nezbytné před následným rozбором jednotlivých geometrických tolerancí dle současných platných norem. Další část této kapitoly tvoří přehled těchto norem spolu s vysvětlením jednotlivých jejich definic. V dalších kapitolách jsou rozebrány závislosti, které je možné definovat mezi tolerancemi geometrickými a rozměrovými a samotný konec této části obsahuje seznámení s tolerancemi všeobecnými. Všechny zmíněné informace z této části práce jsou potřebnými údaji pro všechny, kteří se podílejí na tvorbě výrobní dokumentace a aplikaci vhodného způsobu tolerování pro splnění funkce výrobku při dosažení co největších tolerančních polí.

Druhá část práce obsahuje přehled možných metod použitelných k měření jednotlivých geometrických tolerancí. Měřicí metody a zařízení k jejich realizaci, které byly popsány v této části práce, nepatří vždy mezi nejmodernější a nejpoužívanější pro měření dané tolerance, ale ve většině případů byly voleny jako demonstrativní s vysvětlením průběhu měření. Většina měření geometrických tolerancí v současnosti probíhá na dotykových nebo bezdotykových souřadnicových měřicích přístrojích, které tvoří univerzální měřicí zařízení pro měření komplexní geometrie součástí. Tato kapitola by se tedy také, dle výše zmíněného, dala zpracovat s aplikací pouze několika málo souřadnicových měřicích zařízení pro měření všech popisovaných tolerancí.

Podle současného trendu lze usuzovat, že vývoj měřicí techniky pro měření úchylek geometrických tolerancí bude směřovat k dosažení vyšší přesnosti, kompaktnosti a univerzálnosti těchto zařízení pro dosažení snížení času měření případně zvýšení aplikace inprocesního měření ve výrobě. V tomto směru je jednou z nejvíce rozvíjejících a častěji využívaných způsobů měření metoda, která využívá technologie pro skenování tvaru součástí.

Seznam použité literatury

- [1] SLANEC, K. *Konstruování: Geometrická přesnost výrobků*. 1.díl.Praha: ČVUT, 2004.
- [2] DRASTÍK, F. *Přesnost strojních součástí podle mezinárodních norem*.Ostrava: Montanex, 1996
- [3] SVOBODA, P., a další. *Základy konstruování*. Brno: Cermý, 2008. ISBN:978-80-7204-584-6.
- [4] ČSN EN ISO 1101. *Geometrické specifikace výrobků (GPS) - Geometrické tolerování – Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [5] ČSN ISO 5459. *Geometrické tolerování - Základny a soustavy základen pro geometrické tolerance*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [6] PEŠIČKA, J. a SKOPAL, L. *Geometrická specifikace produktů (GPS) – Geometrické tolerance v technické dokumentaci podle technických norem*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [7] Závislé tolerance. [2014-4-20] Dostupné z: <<http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/ZK1/8P.pdf>>
- [8] Geometrické tolerance. [2014-3-14] Dostupné z: <<http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/ZK1/6P.pdf>>
- [9] ISO 128-24. *Technické výkresy - pravidla zobrazování - Část 24: Čáry na strojnických výkresech*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [10] PEŠIČKA, J. a SKOPAL, L. *Technická dokumentace a geometrická specifikace produktů (GPS) – Rozměrové a geometrické požadavky na výrobky podle mezinárodních norem*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [11] ČSN EN ISO 2692. *Geometrické specifikace výrobků (GPS) - Geometrické tolerování - Požadavek maxima materiálu (MMR), požadavek minima materiálu (LMR) a požadavek reciprocity (RPR)*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [12] ČSN EN ISO 8015. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Základy - Pojmy, principy a pravidla*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [13] ČSN EN ISO 14405-1. *Geometrické specifikace produktu (GPS) – Tolerování rozměrů – Část 1: Lineární rozměry*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [14] ČSN ISO 2768-1. *Všeobecné tolerance - Nepředepsané mezní úchytky délkových a úhlových rozměrů*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [15] ČSN ISO 2768-2. *Všeobecné tolerance Část 2: Nepředepsané geometrické tolerance*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [16] Měření přímosti. [2014-4-21] Dostupné z: <<http://www.uzimex.cz/Sortiment/Mereni-primosti-laserem/Raytec-system-ag/Mereni-primosti/Merici-pristroj-GEPARD.html>>
- [17] Měření rovinnosti. [2014-4-21] Dostupné z: <<http://www.lamikappa.cz/levelign-ultra/>>

[18] Měření kruhovitosti. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/optimalizace-mereni-kruhovitosti-povrchu.html>>

[19] Měření válcovitosti. Dostupné z: <<http://www.hommel-etamic.cz/cz/produkty/mereni-kruhovitosti/turbo-form/>>

[20] Měření polohy. Dostupné z: <<http://www.tecnimetalsa.es/maquina%20tridimensional%203drc.htm>>

[21] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie I*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 2004.

[22] Měření souměrnosti. Dostupné z: <<http://www.vltava2009.cz/klz/goods-6680-59-14101-%E2%80%93-meridlo-na-drazky-na-hrideli-pro-prumer-hridele-1030-mm-a-sirku-drazek-38-mm.html>>

[23] Měření házení. Dostupné z <<http://www.merici-pristroje.cz/produkty/podle-vyrobce/exameca/combodim/>>

[24] Měření skenery. Dostupné z: <<http://www.gom.com/>>

Seznam obrázků

Obr. 1 Toleranční rámečky [4]	11
Obr. 2 Tolerované prvky [4]	12
Obr. 3 Příklady tolerančních polí	13
Obr. 4 Realizace základny pomocí náhradního základního prvku s podpěrami [4]	14
Obr. 5 Realizace základny pro osu díry [4].....	15
Obr. 6 Realizace základny pro společnou osu hřídele [4].....	15
Obr. 7 Označení základen [4].....	16
Obr. 8 Příklady předepisování základen	16
Obr. 9 Příklad užití společné základny pro hřídel	17
Obr. 10 Toleranční rámečky pro soustavy základen	17
Obr. 11 Grafické vysvětlení předpisu tolerančního pole ve vztahu k soustavě základen	18
Obr. 12 Příklad rozdílného užití soustavy základen.....	18
Obr. 13 Způsoby předepisování dílčích základen [4]	19
Obr. 14 Schema pro volbu geometrických tolerancí.....	20
Obr. 15 Přehled geometrických tolerancí tvaru včetně značek [4]	21
Obr. 16 Přehled geometrických tolerancí směru včetně značek [4].....	21
Obr. 17 Přehled geometrických tolerancí umístění včetně značek [4].....	21
Obr. 18 Přehled geometrických tolerancí házení včetně značek [4]	21
Obr. 19 Označení a vysvětlení geometrické tolerance přímosti [4].....	22

Obr. 20 Označení a vysvětlení geometrické tolerance rovinnosti [4]	22
Obr. 21 Označení a vysvětlení geometrické tolerance kruhovitosti [4]	23
Obr. 22 Označení a vysvětlení geometrické tolerance válcovitosti	23
Obr. 23 Označení a vysvětlení geometrické tolerance tvaru profilu čáry [4]	24
Obr. 24 Označení a vysvětlení tvaru profilu čáry vztažené k soustavě základen [4]	24
Obr. 25 Označení a vysvětlení geometrické tolerance profilu plochy [4]	24
Obr. 26 Označení a vysvětlení geom. tolerance profilu plochy ve vztahu k základně [4]	24
Obr. 27 Označení a vysvětlení geometrické tolerance rovnoběžnosti [4]	25
Obr. 28 Označení a vysvětlení geom. tolerance rovnoběžnosti pro válcové tol. pole [4]	25
Obr. 29 Označení a vysvětlení geometrické tolerance rovnoběžnosti přímky s rovinou [4] ...	25
Obr. 30 Označení a vysvětlení geometrické tolerance rovnoběžnosti roviny s přímkou [4] ...	26
Obr. 31 Označení a vysvětlení geometrické tolerance rovnoběžnosti dvou rovin [4]	26
Obr. 32 Označení a vysvětlení geometrické tolerance kolmosti dvou přímek [4]	26
Obr. 33 Označení a vysvětlení geometrické tolerance kolmosti přímky k rovině [4]	27
Obr. 34 Označení a vysvětlení geometrické tolerance kolmosti roviny k přímce [4]	27
Obr. 35 Označení a vysvětlení geometrické tolerance kolmosti dvou rovin [4]	27
Obr. 36 Označení a vysvětlení geometrické tolerance sklonu osy [4]	28
Obr. 37 Označení a vysvětlení geom. tolerance sklonu osy díry k ploše základny [4]	28
Obr. 38 Označení a vysvětlení geometrické tolerance sklonu plochy k přímce [4]	29
Obr. 39 Označení a vysvětlení geometrické tolerance sklonu dvou rovin [4]	29
Obr. 40 Označení a vysvětlení geometrické tolerance polohy bodu [4]	29
Obr. 41 Označení a vysvětlení geometrické tolerance polohy čáry [4]	30
Obr. 42 Označení a vysvětlení geom. tolerance polohy válcového tol. pole [4]	30
Obr. 43 Označení a vysvětlení geometrické tolerance polohy rovinné plochy [4]	30
Obr. 44 Označení a vysvětlení geometrické tolerance soustřednosti bodu [4]	31
Obr. 45 Označení a vysvětlení geometrické tolerance sousostí bodu [4]	31
Obr. 46 Označení a vysvětlení geometrické tolerance souměrnosti [4]	31
Obr. 47 Vysvětlení geometrické tolerance kruhového házení obvodového [4]	32
Obr. 48 Označení geom. tolerance obvodového házení vztažené k základně a) a společné základně b)	32
Obr. 49 Označení a vysvětlení geometrické tolerance kruhového házení čelního [4]	33
Obr. 50 Označení a vysvětlení geom. tolerance kruhového házení v libovolném směru [4] ...	33

Obr. 51 Označení a vysvětlení geometrické tolerance celkového obvodového házení [4].....	34
Obr. 52 Označení a vysvětlení geometrické tolerance celkového házení čelního [4].....	34
Obr. 53 Předpis tolerancí [2].....	35
Obr. 54 Nesplnění rozměru při splnění přímosti [2]	35
Obr. 55 Splnění rozměru při nesplnění přímosti [2]	35
Obr. 56 Splnění obou předepsaných tolerancí při jejich nezávislosti [2].....	35
Obr. 57 Předpis a vysvětlení podmínky obalové plochy [2]	36
Obr. 58 Předpis podmínky maxima materiálu do tol.rámečku [4].....	37
Obr. 59 Předpis tolerance přímosti v závislosti na skutečném rozměru [2].....	37
Obr. 60 Předpis podmínky minima mat. pro umístění díry a nálitku [2]	38
Obr. 61 Tol.pole osy díry a osy nálitku, pokud jsou obě na min. materiálu	38
Obr. 62 Tol.pole osy díry a osy nálitku, pokud jsou obě na max. materiálu.....	38
Obr. 63 Příklad tolerovaného čepu [11]	39
Obr. 64 Plné využití geom. tolerance a maxima materiálu [11]	39
Obr. 65 Plné využití reciprocity na maximum materiálu [11]	40
Obr. 66 Vysvětlení reciprocity na minimum materiálu [11].....	40
Obr. 67 Předpis posunutého tolerančního pole na výkrese [2]	41
Obr. 68 Znázornění sestavení za podmínky posunutého pole [2].....	41
Obr. 69 Aplikace podmínky volného stavu.....	41
Obr. 70 Předpis všeobecných tolerancí	42
Obr. 71 Součást zakótována s použitím všeobecných tolerancí [15].....	45
Obr. 72 Součást se zobrazením všeobecných tolerancí [15].....	45
Obr. 73 Znázornění měření přístrojem Gepard [16]	46
Obr. 74 Přístroj k měření rovinosti Levalign Ultra [17]	47
Obr. 75 Zobrazení měřené roviny [17].....	47
Obr. 76 Přístroj k měření kruhovitosti Talyrond 500 [18]	48
Obr. 77 Zobrazení výsledků měření kruhovitosti [18].....	48
Obr. 78 Znázornění měřících metod dle ISO 12180-2 [21]	49
Obr. 79 Přístroj pro měření válcovitosti Hommel Tester Form 1004 spolu se znázorněním výsledků [19].....	49
Obr. 80 Měření rovnoběžnosti pomocí úchylkoměru [21].....	50
Obr. 81 Měření rovnoběžnosti přístrojem Gepard [16].....	50

Obr. 82 Úhelníky pro měření kolmosti [21].....	51
Obr. 83 Měření kolmosti pomocí úchylkoměru a úhelníku [21].....	51
Obr. 84 Úhelníky a úhломěr pro měření sklonu [21].....	52
Obr. 85 Měření sklonu pomocí sinusového pravítka [21].....	52
Obr. 86 Souřadnicový měřicí přístroj pro měření polohy [20]	53
Obr. 87 Měření sousosti pomocí kolimátoru a dalekohledu [21].....	54
Obr. 88 Průběh snímání bodů při měření soustřednosti na souřadnicovém přístroji	54
Obr. 89 Průběh snímání bodů při měření sousosti na souřadnicovém přístroji	54
Obr. 90 Měření souměrnosti pomocí hrotového přístroje [21]	55
Obr. 91 Kalibr pro kontrolu drážek per na hřídelích [22]	55
Obr. 92 Přístroj Combodim pro měření kruhového házení obvodového [23]	56
Obr. 93 Přístroj Unidim pro měření kruhového házení čelního [23]	57
Obr. 94 Optický měřicí přístroj Atos Compact scan 2M [24].....	58
Obr. 95 Výsledná barevná mapa součásti s jednotlivými úchyly [24].....	58

Seznam tabulek

Tab. 1 Přehled kvalifikace tvaru prvku	12
Tab. 2 Mezní úchyly délkových rozměrů kromě zkosení hran [14]	42
Tab. 3 Mezní úchyly zkosení a zaoblení hran [14]	43
Tab. 4 Mezní úchyly úhlových rozměrů [14].....	43
Tab. 5 Všeobecné tolerance přímosti a rovinnosti [15]	43
Tab. 6 Všeobecné tolerance kolmosti [15].....	44
Tab. 7 Všeobecné tolerance souměrnosti [15]	44
Tab. 8 Všeobecné tolerance kruhového házení [15]	44

Seznam příloh

Příloha č. 1 – Návrh komplexního kalibru

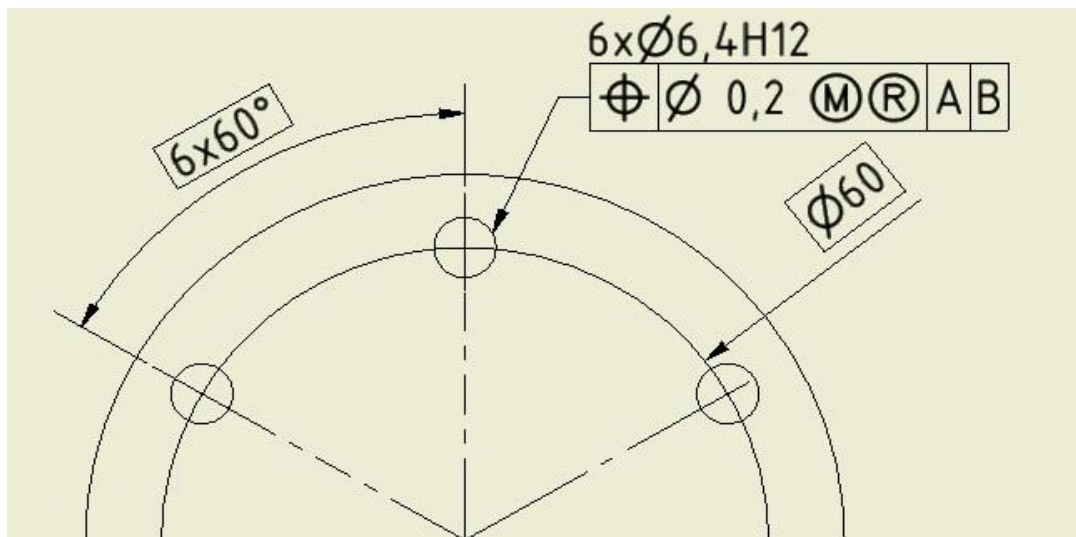
Příloha č. 2 – Záznam měření na souřadnicovém měřicím stroji

PŘÍLOHA č. 1

Návrh komplexního kalibru

Cílem tohoto návrhu je vytvoření komplexního kalibru pro kontrolu rozměrové a geometrické tolerance šesti děr na kruhové přírubě.

Příruba (obr. 1) má polohu děr zakótovanou přesným rozměrem a úhlem na roztečné kružnici, spolu s geometrickou tolerancí polohy s předpisem podmínky maxima materiálu s reciprocitou.



Obr. 1 Výřez výkresu kruhové příruby

Vysvětlení stavů pro rozměr prvku a tolerančního pole:

	Velikost prvku \varnothing	Průměr tolerančního pole
D min (MML)	6,40	0,200
	6,45	0,250
	6,50	0,300
D max (LML)	6,55	0,350

Bude-li skutečný rozměr:

- Na mezi maxima materiálu (D_{min}) = 6,4mm, toleranční pole = 0,2[mm]
- Na mezi minima materiálu (D_{max}) = 6,55mm, toleranční pole = $0,150+0,2 = 0,350$ [mm]

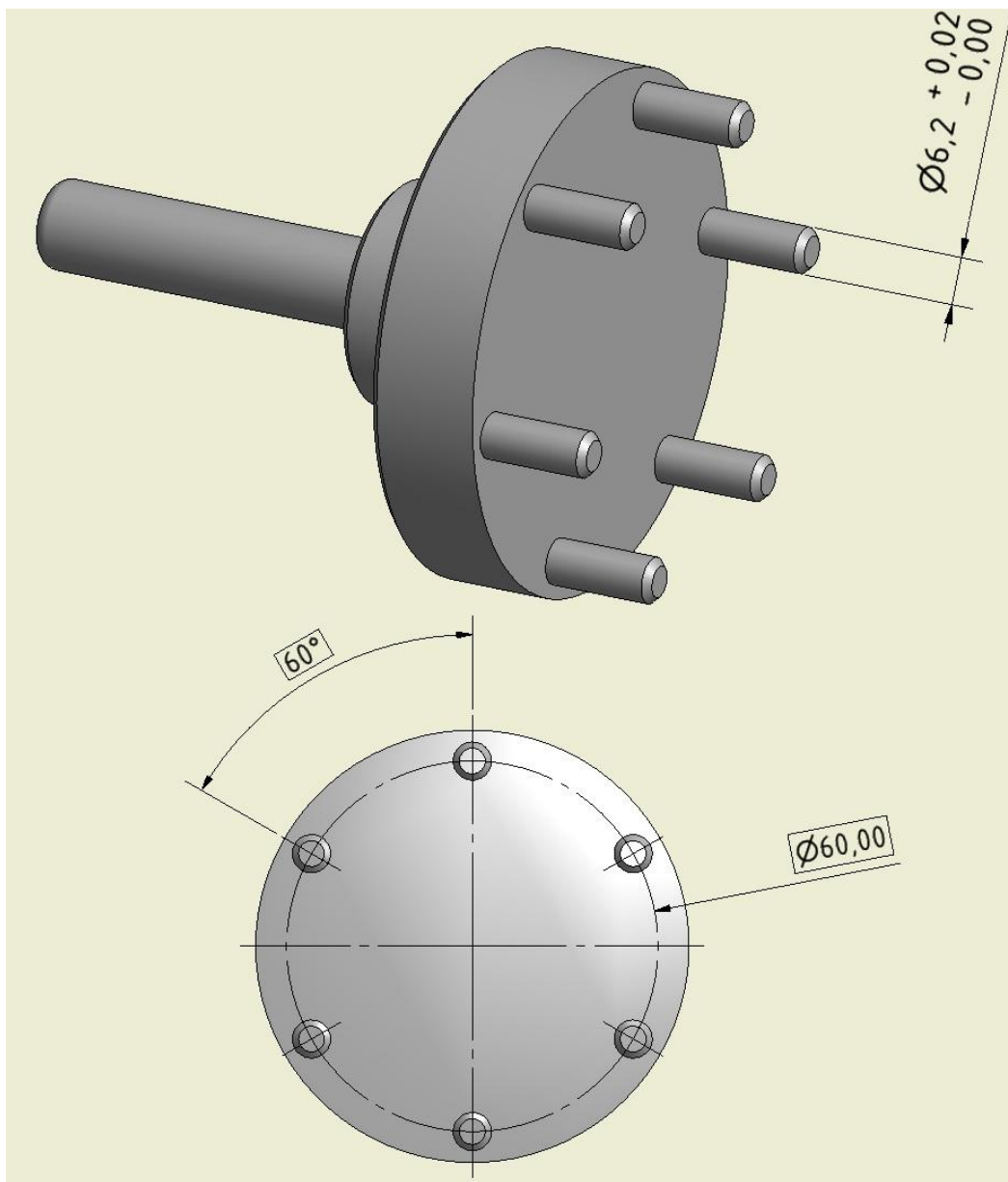
Komplexní kalibr bude opatřen válcovými trny, které budou ideálními vepsanými válci pro každou z děr příruby. Díky podmínce reciprocity může být rozměr děr zmenšen ještě o velikost tolerančního pole geometrické tolerance. V tomto případě musí ležet díry v přesné poloze, tedy rozměr tolerančního pole geometrické tolerance polohy bude nulový.

Horní mezní rozměr děr musí projít ještě kontrolou dvoubodovým měřením.

Průměry válců budou rovny:

$$\varnothing = \text{MML} - \text{toleranční pole (při MML)} = 6,4 - 0,2 = \mathbf{6,2[\text{mm}]}$$

Výsledný komplexní kalibr válcovými trny $\varnothing 6,2\text{mm}$ je uveden na obr. 2.



Obr. 2 Komplexní kalibr

PŘÍLOHA č. 2

Záznam měření na souřadnicovém měřicím stroji

Měřicí stroj

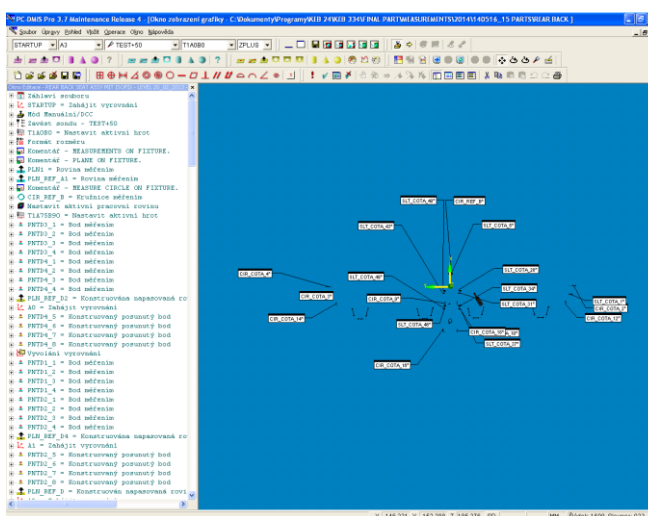
- Typ: Zeiss/Steifelmayer System C (obr. 1)
- Přesnost: $0,3+L/1000$ [μm]
- Rozměry stolu: 2500x1200 [mm]
- Měřicí rozsah: Z=2500, Y=1000
- Nosnost stolu: 1000kg

Průběh měření

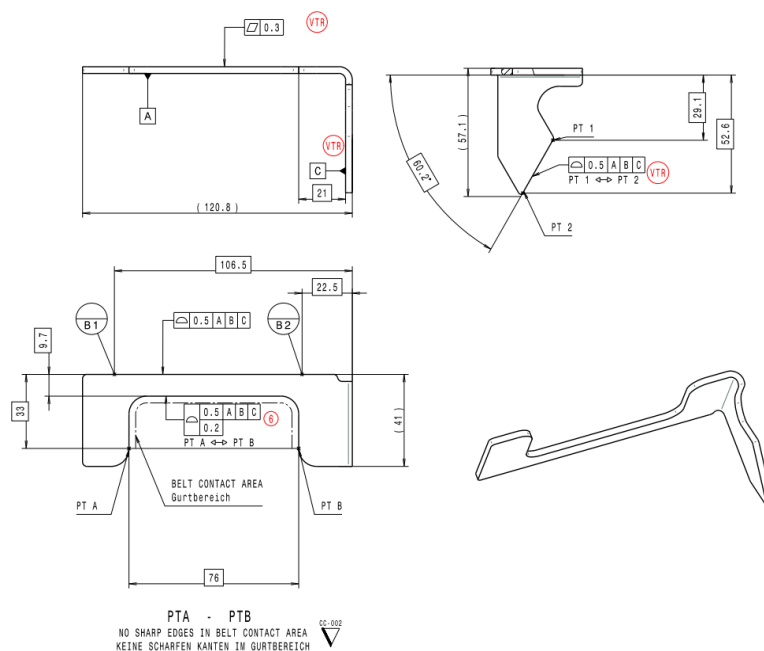
- 1) Kontrola, sestavení částí měřicího přístroje (zapojení spínací dotekové sondy)
- 2) Spuštění PC, programu, měřicího stroje
- 3) Kalibrace snímacího systému
- 4) Ustavení měřené součásti
- 5) Spuštění programu PC DMIS PRO 3.7 (obr. 2)
- 6) Vyrovnaní souřadnicového systému
- 7) Měření
- 8) Vyhodnocení měření, tvorba protokolu, ukončení měření



Obr. 1 Měřicí stroj



Obr. 2 Průběh měření v měřicím programu



Obr. 3 Výřez z výkresu měřené součásti

Č. / Nr.		Popis kót / Name	Poloha / Dimension	Nominál / Nominal	Naměřená hodnota / Actual	H. Tol. / Upp. Tol.	D. Tol. / Low. Tol.	Odchylka / Deviation	Mimo Tol. / Out
1	COTA1	FLAT		0,000	0,102	0,300	0,000	0,102	OK
2	COTA2	Y		0,000	0,002	0,250	-0,250	0,002	OK
3	COTA3_1	STR		0,000	0,026	0,200	0,000	0,026	OK
4	COTA3_2	STR		0,000	0,007	0,200	0,000	0,007	OK
5	COTA3_3	STR		0,000	0,013	0,200	0,000	0,013	OK
6	COTA4_AUX	ANG		-60,200	-60,201			0,001	OK
7	COTA5	Z		-3,000	-3,057	0,260	-0,260	0,057	OK

Obr. 4 Výsledky měření

Závěr: Všechny změřené rozměry se nacházejí v tolerančních polích.