

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta strojní – Ústav technologie obrábění, projektování a
metrologie**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Metody měření geometrických tolerancí výrobků

Autor: Michal Kaňák

Praha, 2017

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kaňák** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **438603**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Metody měření geometrických tolerancí výrobků

Název bakalářské práce anglicky:

Measurement methods of geometric tolerances products

Pokyny pro vypracování:

1. Definice geometrických tolerancí
2. Měření geometrických tolerancí
3. Vliv geometrických tolerancí na výkresovou dokumentaci
4. Přenesení požadavků zákazníka na produkt a zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. BcA. Jan Podaný Ph.D., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **20.04.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15.07.2017**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s užitím poskytnutých zdrojů.
Seznam použitých zdrojů přiložen jako příloha k zadání je třeba uvesti v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s tím, že její výsledky mohou být dále použity podle uvážení vedoucího diplomové práce jako jejího spoluautora. Souhlasím také s případnou publikací výsledků diplomové práce nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

Datum.....

Podpis

Poděkování

Tímto bych chtěl velmi rád poděkovat především vedoucímu této bakalářské práce, panu Ing. BcA. Janu Podanému, Ph.D., za jeho ochotu pomoci mi při tvorbě této práce. Další velký díky patří panu Ing. Lukáši Kašparovi z firmy KYB Manufacturing s.r.o., který mi velmi pomohl při měření.

Anotace

Tato bakalářská práce se dělí na část teoretickou a praktickou. Teoretická část informuje o problematice geometrických tolerancí (jak se zapisují, čím je jejich toleranční pole určeno, atd.). Druhá polovina teoretické části pojednává o souřadnicově měřicích strojích. Praktická část spočívá v naměření vybraných geometrických tolerancí na daném výrobku (svařenci) a v následném vyhodnocení výsledků.

Klíčová slova

Metrologie, souřadnicově měřicí stroje, geometrické tolerance, norma ČSN EN ISO 1101

Abstract

This bachelor thesis is divided on a theoretical and a practical part. The theoretical part informs about the problematics of geometrical tolerances (how they are written, how is their tolerant field defined, etc.). The second half of the theoretical part is about a coordinate measuring machines and about an unconventional scales. The practical part consists in measuring of chosen geometrical tolerances on a given part (weldment) and it consists in an evaluation of results.

Key words

Metrology, coordinate measuring machines, geometric tolerations, norm ČSN EN ISO 1101

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Geometrické tolerance.....	2
2.1	Základní pojmy.....	2
2.1.1	Toleranční pole.....	2
2.1.2	Základna	3
2.1.3	Toleranční rámeček	3
2.1.4	Tolerované prvky	5
2.2	Rozdělení geometrických tolerancí	6
2.3	Tolerance tvaru	8
2.3.1	Tolerance přímosti.....	8
2.3.2	Tolerance rovinnosti.....	8
2.3.3	Tolerance kruhovitosti.....	9
2.3.4	Tolerance válcovitosti	9
2.3.5	Tolerance profilu čáry	10
2.3.6	Tolerance profilu povrchu	10
2.4	Tolerance směru	11
2.4.1	Tolerance rovnoběžnosti	11
2.4.2	Tolerance kolmosti	13
2.4.3	Tolerance sklonu	16
2.5	Tolerance umístění	18
2.5.1	Tolerance polohy.....	18
2.5.2	Tolerance soustřednosti bodu.....	21
2.5.3	Tolerance sousosti osy	21
2.5.4	Tolerance souměrnosti	22
2.6	Tolerance házení.....	23
2.6.1	Tolerance kruhového házení obvodového.....	23

2.6.2	Tolerance kruhového házení čelního.....	24
2.6.3	Tolerance kruhového házení v libovolném směru	24
2.6.4	Tolerance kruhového házení v daném směru	25
2.6.5	Tolerance celkového obvodového házení	25
2.6.6	Tolerance celkového čelního házení	26
3	Úprava rozměrů normami	26
3.1	ČSN ISO 2786.....	26
3.1.1	ČSN ISO 2768-1	27
3.1.2	ČSN ISO 2768–2.....	28
3.2	ČSN ISO 8015	30
4	Měření geometrických tolerancí.....	30
4.1	Chyby měření	30
4.1.1	Absolutní a relativní chyby	30
4.1.2	Systematické chyby.....	31
4.1.3	Náhodné chyby.....	31
4.2	Souřadnicové měřicí stroje	32
4.2.1	Složení SMS a jejich druhy	32
4.2.2	SMS mostové	34
4.2.3	SMS výložníkové	34
4.2.4	SMS portálové.....	35
4.2.5	SMS stojanové.....	35
5	Praktická část.....	36
5.1	Informace o podniku.....	36
5.2	Zadaný výkres.....	36
5.3	Měření součástky.....	37
5.4	Vyhodnocení měření.....	38
6	Závěr.....	39

7	Seznam použitých zkratk.....	40
8	Seznam použité literatury	41
9	Seznam obrázků	42
10	Seznam tabulek	44
11	Seznam příloh.....	45

1 Úvod

Cílem této bakalářské práce je shrnout všechny druhy geometrických tolerancí, protože v praktické části jsou naměřeny geometrické tolerance z výkresu. U každé geometrické úchytky je kromě stručného popsání z normy ČSN EN ISO 1101 také grafické zobrazení tolerančního pole a zároveň názorné zobrazení na výkrese.

Požadavky na výrobky se z pohledu geometrických tolerancí pořád zvětšují. Je to kvůli přesnější výrobě a nutnosti dosáhnout požadovaných rozměrů, které by měly mít na dané součásti nějakou funkčnost. Norma ČSN ISO 8015, společně s normou ČSN ISO 2768-1 a ČSN ISO 2768-2, upravují zapisování tolerancí na výkresové dokumentaci tím, že ji dělá více přehlednou.

V dnešní době se převážně používají při měření geometrických tolerancí souřadnicové měřicí stroje. Jejich použití je velmi rychlé a výsledky měření vyhodnocuje počítač. Kvůli dané osnově z firmy KYB Manufacturing s.r.o. se tato práce věnuje pouze souřadnicovým měřicím strojům (SMS), jsou vynechána ruční měřidla. Samozřejmě jsem si zjistil informace o těchto ručních měřidlech. V průmyslu se hojně používají např. libely, úhломěry, číselníkové úchytkoměry, kolimátory, sinusová pravítka a další měřidla, která svým použitím leckdy předčí SMS.

2 Geometrické tolerance

Z důvodu rostoucích požadavků na výrobky je při výrobě nutné těchto požadavků docílit. Vše začíná požadavkem zákazníka. Idea zákazníka pokračuje ke konstruktérovi, který musí zajistit to, aby součástka byla vyrobitelná a splňovala požadované vlastnosti.

Kvůli velikému množství používaných materiálů obráběcích nástrojů, ale i obráběných materiálů, jsou používány různé řezné podmínky a technologie, které určují finální rozměry vyrobené součásti a vlastnosti jejího povrchu.

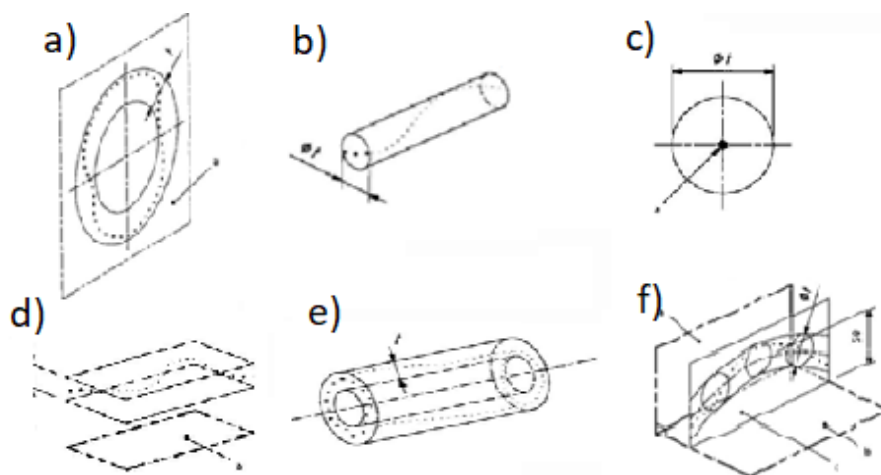
2.1 Základní pojmy

Před popisováním jednotlivých geometrických tolerancí je nutné si objasnit celou situaci, především základní pojmy, které se často používají při popisování geometrických tolerancí.

[2,3]

2.1.1 Toleranční pole

Toleranční pole je mez, ve které se musí skutečný prvek nacházet. V následujících kapitolách bude toleranční pole u jednotlivých tolerancí podrobně popsáno. Jen pro upřesnění, toleranční pole může být vymezeno několika možnými způsoby, např. mezikružím (obr. 1a), válcem (obr. 1b), kruhem (obr. 1c), prostorem mezi dvěma ekvidistantními rovinami či plochami (obr. 1d), prostorem mezi dvěma sousými válci (obr. 1e), prostorem mezi dvěma ekvidistantními čarami či rovnoběžnými přímkami (obr. 1f). [2, 3]

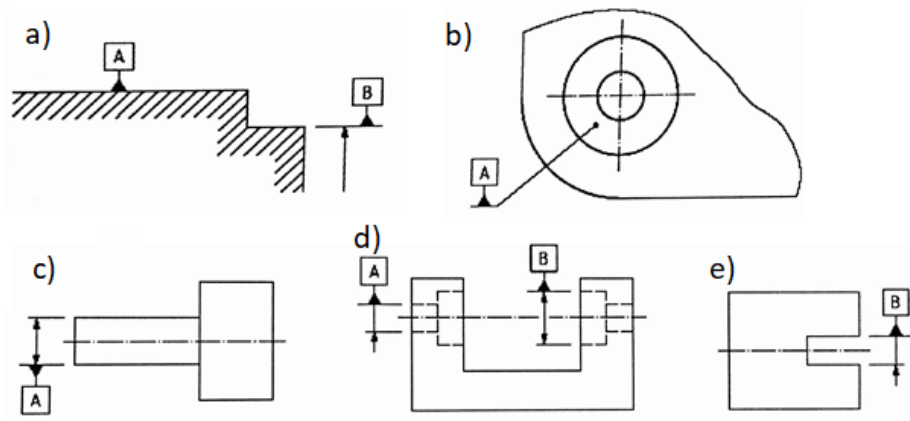


Obr. 1 Příklady tolerančních polí [3]

2.1.2 Základna

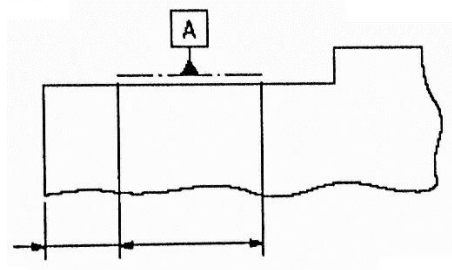
Základna je plocha, rovina, bod či čára (osa), ke které se vztahuje geometrická tolerance. Podrobné informace o základnách udává norma ČSN EN ISO 5459, ale pro základní pochopení problematiky nám postačí norma ČSN EN ISO 1101. [2, 3]

Základna je vždy označena v rámečku písmenem velké abecedy. Tento rámeček je spojen s tolerovaným prvkem pomocí odkazové čáry (prodloužené odkazové čáry) (obr. 2a), která směřuje k bodu na ploše (obr. 2b) nebo na prodlouženou kótovací čáru v případě, že je základnou osa, střední rovina či bod (obr. 2c, d, e). [2, 3]



Obr. 2 Zobrazení základen I [3]

Pokud je základnou omezená část prvku, omezení se označí tlustou čerchovanou čarou s dlouhými čárkami a kótuje se dle obr. 3. [2, 3]

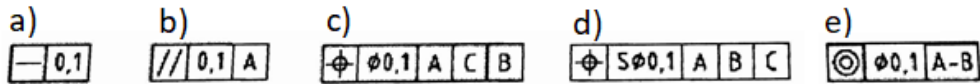


Obr. 3 Zobrazení základny II [3]

2.1.3 Toleranční rámeček

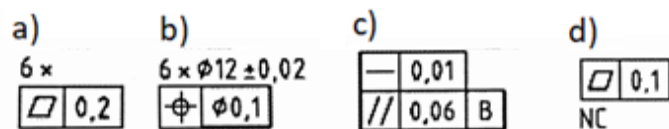
Geometrické tolerance se zapisují do pravoúhlých rámečků (obr. 4), které mají buď dvě, nebo tři, respektive 5 polí, kdy poslední tři pole slouží pro zapsání více základen. Zapisují se zleva v tomto pořadí: do prvního pole se vždy zapisuje značka geometrické charakteristiky, druhé pole patří číselné hodnotě (délková jednotka), kterou tolerance má. Pokud se jedná o toleranční pole válcové či kruhové, je před jmenovitou hodnotou tolerance uvedena značka

průměru „ \emptyset “ (obr. 4c). Je-li toleranční pole kulové, před číselnou hodnotu se píše značka „S \emptyset “ (obr. 4d). Poslední pole rámečku patří základně (obr. 4b-e). Toto pole může být rozděleno na několik částí (soustava základen, podle počtu potřebných základen, jedna - primární (obr. 4b), či více – sekundární, terciální (obr. 4c,d), nebo se do jednoho pole mohou zapsat dvě společné základny (obr. 4e). Výše zmíněné zápisy základen budou v této práci zmíněny později. [2, 3]



Obr. 4 Toleranční rámečky I. [3]

Jsou tu i „speciální“ doplňkové rámečky. Pokud tolerance platí pro více prvků, napíše se nad rámeček počet prvků a „x“ (obr. 5a, b). Právě tehdy, když je potřeba předepsat více charakteristik jednomu prvku, dají se rámečky umístit přímo nad sebe (obr. 5c). Na obr. 5d je toleranční rámeček, který nám říká, že je požadována kvalifikace tvaru prvku v tolerančním poli. Seznam požadavků je v tab. 1. [1,3]



Obr. 5 Toleranční rámečky II. [3]

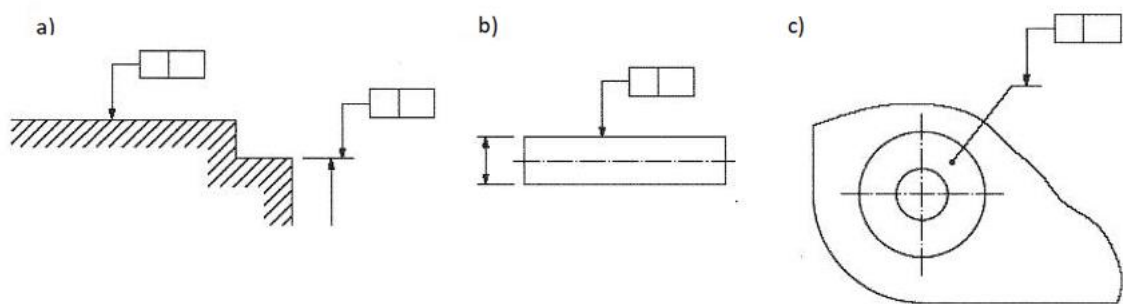
Tab. 1 Seznam kvalifikací tvaru prvku [3]

Popis	Značka
Společné pole	CZ
Malý průměr	LD
Velký průměr	MD
Průměr roztečné kružnice	PD
Čárový prvek	LE
Nekonvexní	NC
Libovolný průřez	ACS

2.1.4 Tolerované prvky

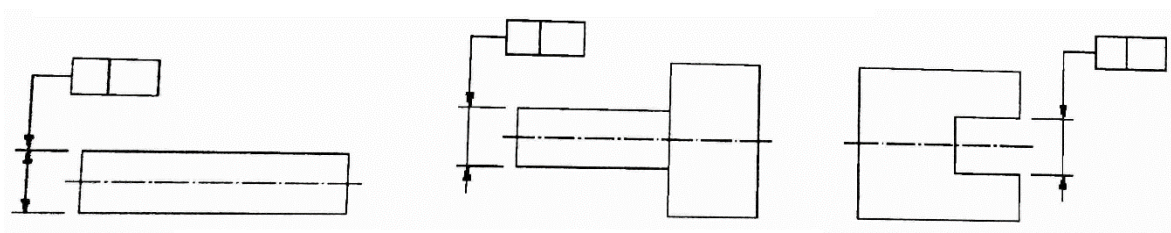
Nyní si popíšeme, jak se kótují tolerované prvky. Toleranční rámeček se spojuje s tolerovaným prvkem pomocí odkazové čáry. Ta musí vycházet z jedné strany rámečku a vždy je ukončena šipkou. Existuje několik možných způsobů, jak tolerované prvky správně zakótovat. [1,3]

Při prvním způsobu, pokud se tolerance vztahuje na čáru či plochu, ze které šipka odkazové čáry vychází, se šipka nachází na obrysové čáře či prodloužené obrysové čáře (obr. 6a, b). Tato čára musí být jasně odlišena od kótovací čáry. Šipka se také může umístit na vynášecí čáru, která je zakončena v bodě plochy (obr. 6c). [1,3]



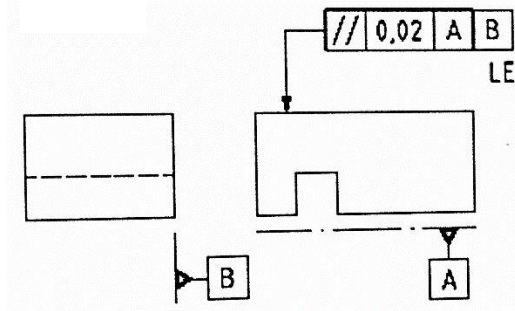
Obr. 6 Tolerované prvky I. [3]

Druhý způsob nám dovoluje umístit odkazovou čáru na prodloužené kótovací čáře v případě, že se tolerance vztahuje na střední čáru, střední plochu či bod určený prvkem takto kótovaným (obr. 7). [1,3]



Obr. 7 Tolerované prvky II. [3]

Při třetím způsobu se údaj, který předepisuje tvar prvku (čára namísto plochy), zapíše v blízkosti tolerančního rámečku (obr. 8). [1,3]



Obr. 8 Tolerované prvky III. [3]

2.2 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. 9 Přehled a zobrazení geometrických tolerancí tvaru [3]

Tolerance směru (orientace)

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



Obr. 10 Přehled a zobrazení geometrických tolerancí směru [3]

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. 11 Přehled a zobrazení geometrických tolerancí umístění [3]

Tolerance házení

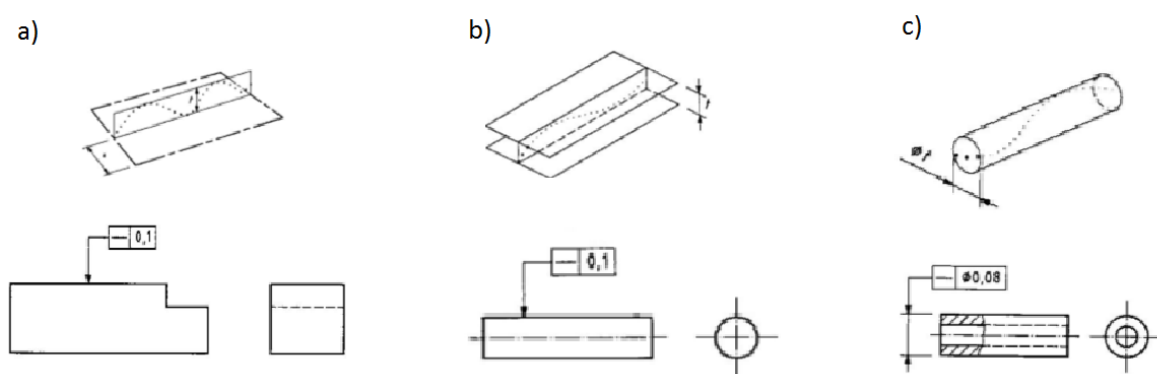
Tolerance	Charakteristika	Značka	Potřebnost základny
házení	kruhové házení		ano
	celkové házení		ano

Obr. 12 Přehled a zobrazení geometrických tolerancí házení [3]

2.3 Tolerance tvaru

2.3.1 Tolerance přímosti

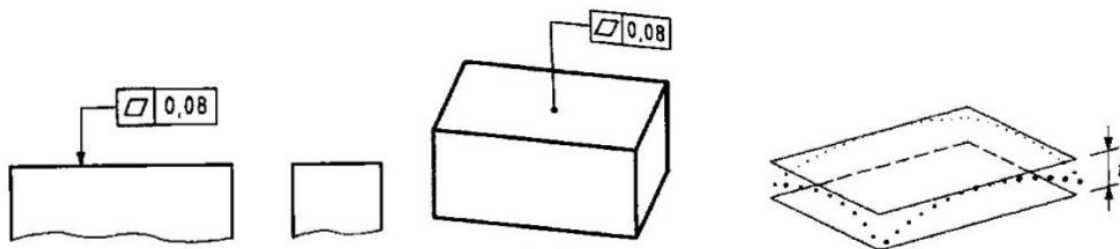
Toleranční pole přímosti je v dané rovině vymezeno dvěma rovnoběžnými přímkami, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu velikost tolerance „t“ (obr. 13a). Skutečná přímka musí ležet uvnitř tolerančního pole, tzn. mezi těmito rovnoběžkami. Pokud se toleruje válcový povrch (obr. 13b), je třeba využít tolerančního pole, které se skládá ze dvou rovin. Tyto roviny jsou od sebe vzdáleny o hodnotu tolerance „t“. V případě tolerování povrchu válce musí být toleranční pole vymezeno válcem a před hodnotou tolerance je nutné uvést značku \emptyset (obr. 13c). [2, 3]



Obr. 13 Zobrazení tolerančního pole u přímosti [3]

2.3.2 Tolerance rovinnosti

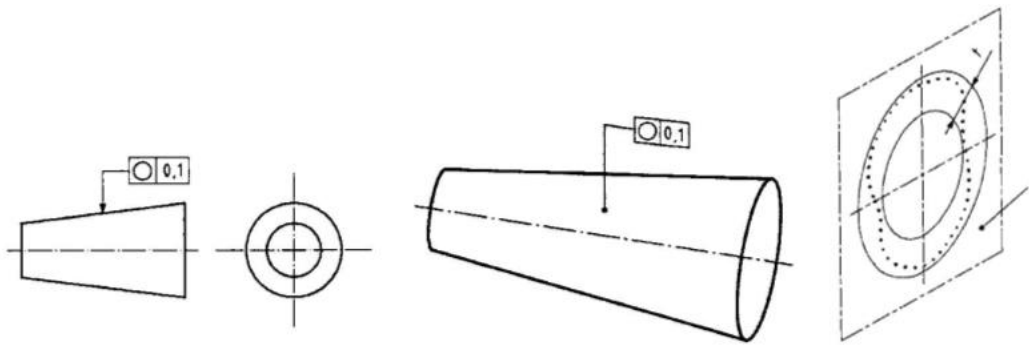
Toleranční pole rovinnosti je vymezeno dvěma vzájemně rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu tolerance „t“ (obr. 14). Všechny body skutečné plochy musí tudíž ležet uvnitř tohoto prostoru. [2, 3]



Obr. 14 Zobrazení tolerančního pole u rovinnosti [3]

2.3.3 Tolerance kruhovitosti

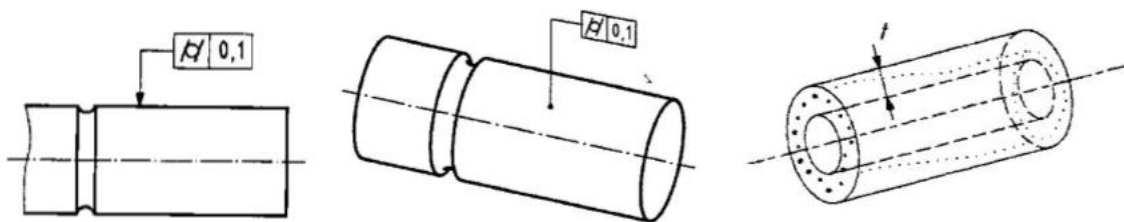
Toleranční pole kruhovitosti je vymezeno dvěma soustřednými kružnicemi, jejichž rozdíl poloměrů je roven velikosti tolerančního pole „t“ (obr. 15). Do tolerančního rámečku se nesmí psát značka „ \varnothing “. Z obr. 15 je patrné, že zjištěná obvodová čára musí v kterémkoliv průřezu válcovým a kuželovým povrchem ležet mezi koplánárními (ležící ve stejné rovině) soustřednými kružnicemi (v našem případě je to 0,03 mm). [2, 3]



Obr. 15 Zobrazení tolerančního pole u kruhovitosti [3]

2.3.4 Tolerance válcovitosti

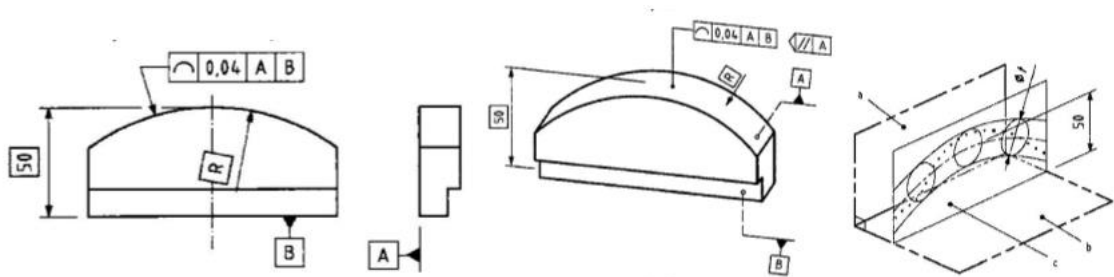
Toleranční pole válcovitosti je vymezeno dvěma sousými válci (na horním mezním rozměru je to válec obalový), potažmo rozdílem jejich poloměrů (radiální vzdálenost) (obr. 16). Je požadované, aby rozdíl poloměrů byl co nejmenší a zároveň aby se skutečný válec nacházel v prostoru tolerančního pole „t“ mezi těmito dvěma sousými válci. [2, 3]



Obr. 16 Zobrazení tolerančního pole u válcovitosti [3]

2.3.5 Tolerance profilu čáry

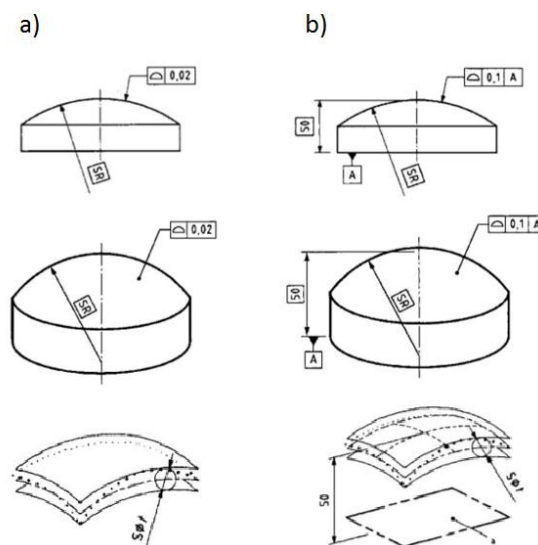
Toleranční pole profilu čáry je vymezené dvěma obalovými čarami (ekvidistantními) kružnice o průměru „ ϕt “ (velikost tolerančního pole). V každém průřezu, který je rovnoběžný s rovinou promítání, by střed kružnice měl být na čáře, která udává ideální (geometricky přesný) tvar (obr. 17). Tolerance profilu čáry mohou být dvojího typu – vztažené k základně (soustavě základen) či nevztažené k základně. V případě „vztažené k základně“ je toleranční pole tvořeno kružnicemi, které leží na čáře s geometricky přesným tvarem a jsou vázány k rovinám základen A a B. (obr. 17). [2, 3]



Obr. 17 Zobrazení tolerančního pole profilu čáry [3]

2.3.6 Tolerance profilu povrchu

Toleranční pole profilu povrchu je tvořeno dvěma obalovými (ekvidistantními) plochami koulí o průměru „ ϕt “ (obr. 18a). Tyto koule jsou soustředné a jejich středy leží na povrchu s geometricky přesným tvarem. Stejně tak jako u tolerance profilu čáry může být i tolerance profilu povrchu vztažená k základně či k soustavě základen a nevztažená k základně (obr. 18b). [2, 3]



Obr. 18 Zobrazení tolerančního pole profilu povrchu [3]

2.4 Tolerance směru

Jednotlivé tolerance směru jsou komplikovanější než ostatní tolerance, protože je více možností, kdy lze níže zmíněné tolerance použít. [2, 3]

2.4.1 Tolerance rovnoběžnosti

Tolerance rovnoběžnosti se dá zapsat čtyřmi způsoby podle toho, které prvky se použijí jako základna:

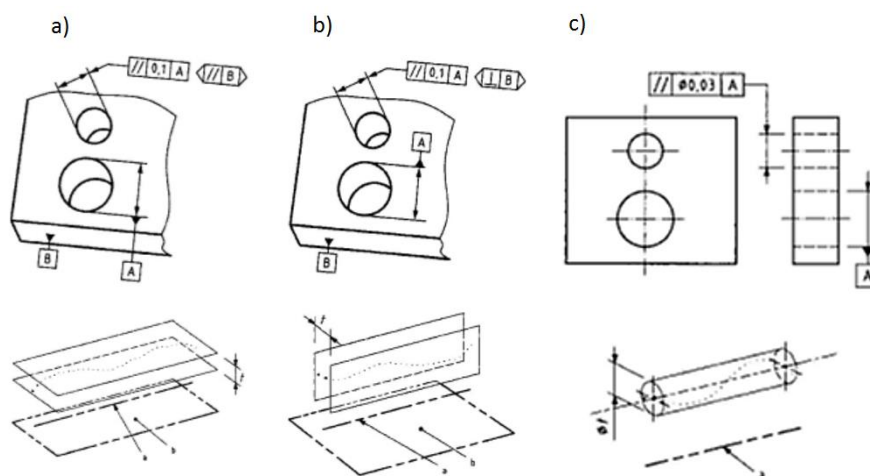
- Přímkou s přímkou
- Přímkou s rovinou
- Rovinou s přímkou
- Rovinou s rovinou

Přímkou s přímkou

V tomto případě je toleranční pole dáno dvěma vzájemně rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdáleny o velikost tolerančního pole „t“. Mohou být dva případy použití tohoto druhu tolerance. V prvním případě (obr. 19a) jsou toleranční roviny rovnoběžné s osou základny A, zároveň jsou orientované ve směru roviny základny B a v daném směru. [3]

Druhý případ, který je na obr. 19b říká, že toleranční roviny jsou rovnoběžné s osou základny A a zároveň kolmé na rovinu základny B. [3]

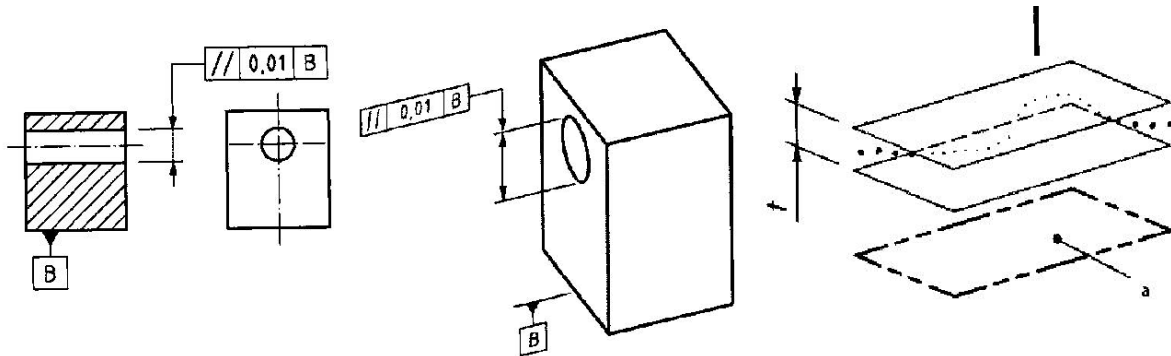
Pokud se v zápisu tolerance objeví symbol „ \varnothing “, značí to, že toleranční pole je vymezeno válcem o průměru „t“. Tento válec musí být rovnoběžný se základnou (obr. 19c). [3]



Obr. 19 Zobrazení tolerančního pole přímosti - "přímkou s přímkou" [3]

Přímka s rovinou

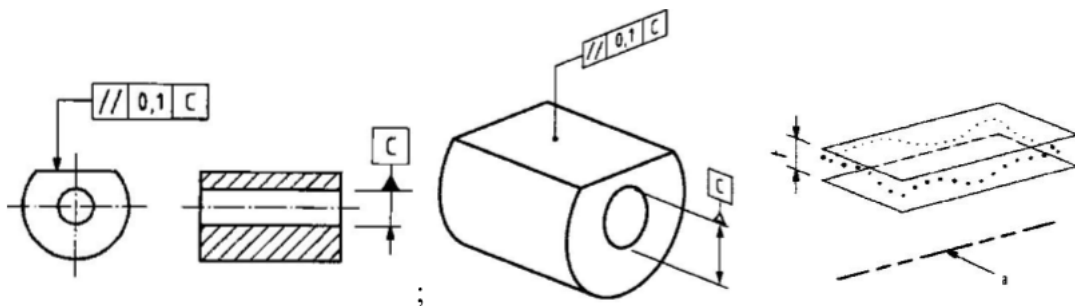
Toleranční pole je v tomto případě dáno dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu velikosti tolerance „t“ (obr. 20). Takto se velmi často toleruje vzájemná rovnoběžnost hrany s dírou. [3]



Obr. 20 Zobrazení tolerančního pole přímosti - "přímka s rovinou" [3]

Rovina s přímkou

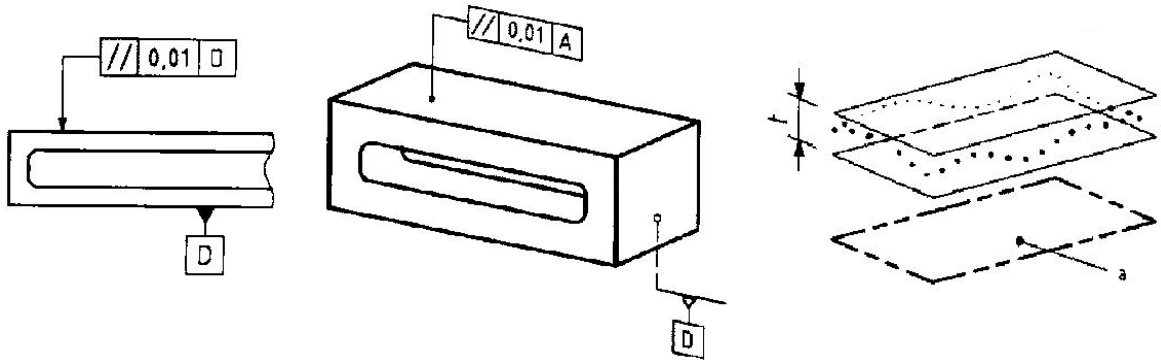
I v tomto případě je toleranční pole vymezeno dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdáleny o velikost tolerance „t“ (obr. 21). [3]



Obr. 21 Zobrazení tolerančního pole přímosti - "roviny s přímkou" [3]

Rovina s rovinou

Jako v každém z předchozích případů tolerování rovnoběžnosti je i nyní toleranční pole tvořeno dvěma rovnoběžnými rovinami. Tyto roviny musí být rovnoběžné se základnou (obr. 22). [2, 3]



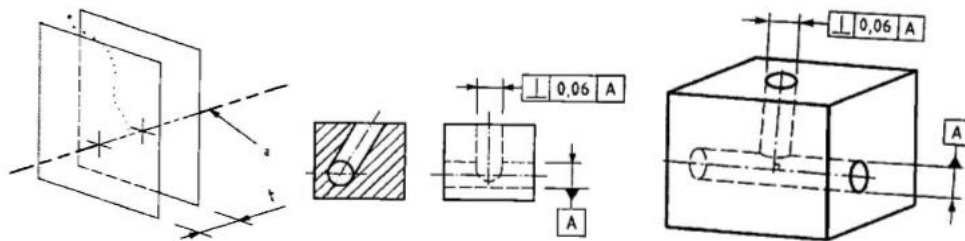
Obr. 22 Zobrazení tolerančního pole přímosti - "rovina s rovinou" [3]

2.4.2 Tolerance kolmosti

Toleranci kolmosti lze předepsat pěti způsoby.

Tolerance kolmosti přímky vztážená k přímce základny

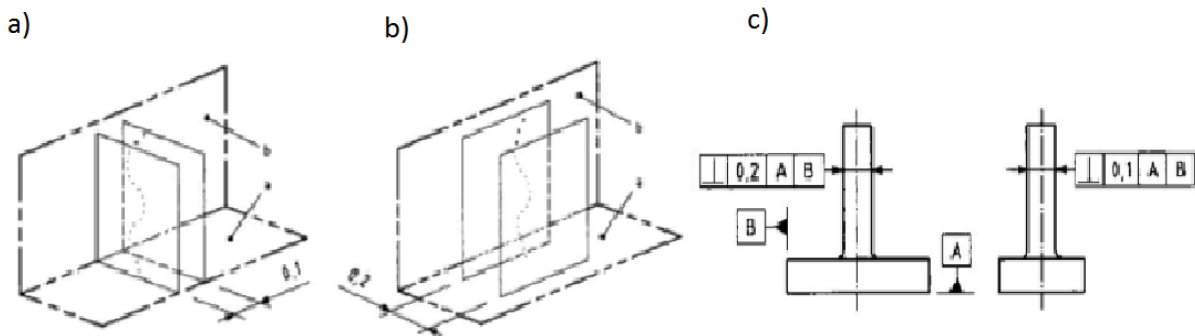
Toleranční pole je vymezeno dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdáleny „t“ a zároveň kolmé k základně. Tento druh tolerance se používá často v případě na sebe kolmých děr. (obr. 23). [2, 3]



Obr. 23 Zobrazení tolerančního pole kolmosti – „přímky k přímce“ [3]

Tolerance kolmosti přímky vztažená k soustavě základen

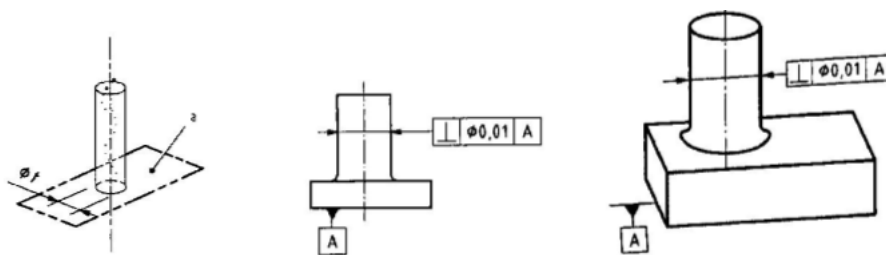
Toleranční pole je vymezeno dvěma páry rovnoběžných rovin, které jsou od sebe vzdáleny o velikost tolerancí „ t_1 “ a „ t_2 “. Z obr. 24a je zřejmé, že roviny jsou kolmé na základnu A a zároveň i na základnu B. Obr. 24b značí, že roviny jsou rovnoběžné se základnou B a kolmé na základnu A. Z obr. 24c je patrné předchozí popsání tolerancí. [2, 3]



Obr. 24 Zobrazení tolerančního pole kolmosti - "přímky k rovině" [3]

Tolerance kolmosti přímky vztažená k ploše základny

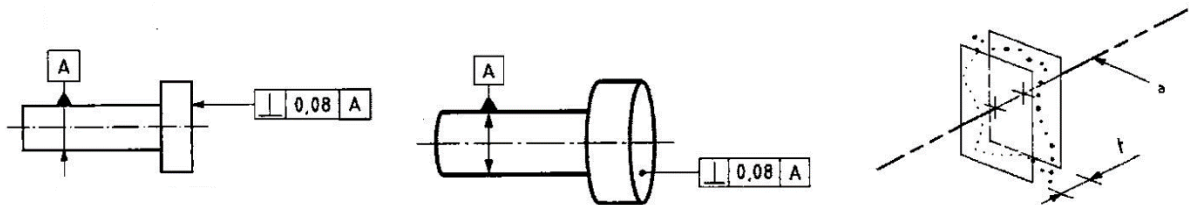
V tomto případě, když je před hodnotou tolerance uvedena značka „ ϕ “, je toleranční pole vymezeno válcem o průměru „ t “. Naměřená čára musí tudíž ležet uvnitř válcového pole o průměru 0,01 mm, které je kolmé na základnu A (obr. 25). [2, 3]



Obr. 25 Zobrazení tolerančního pole kolmosti - "přímky k ploše" [3]

Tolerance kolmosti plochy vztažená k přímce základny

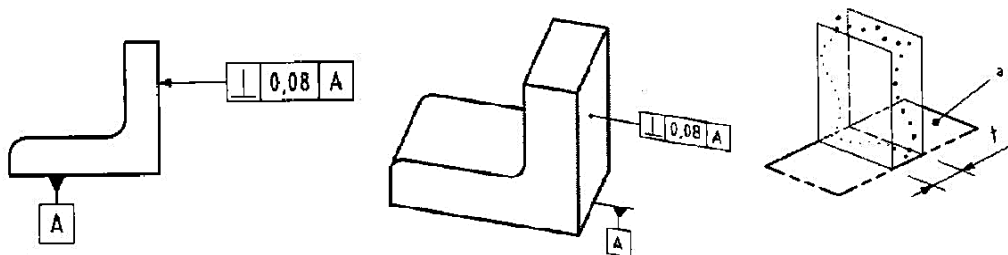
Toleranční pole je vymezeno dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdáleny o velikost tolerance „t“, a tyto roviny jsou zároveň kolmé k základně. Na obr. 26 je uvedeno, že skutečná plocha musí ležet mezi rovinami, které jsou od sebe vzdáleny 0,08 mm. [2, 3]



Obr. 26 Zobrazení tolerančního pole kolmosti - "roviny k přímce" [3]

Tolerance kolmosti plochy vztažená k ploše základny

Toleranční pole je vymezeno, jako ve všech předešlých případech, dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu tolerance „t“. Z obr. 27 je patrné, že roviny jsou kolmé k základně A. [2, 3]

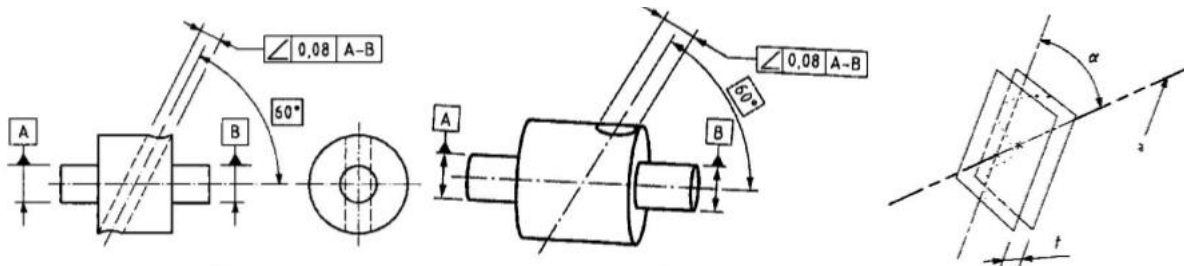


Obr. 27 Zobrazení tolerančního pole kolmosti - "roviny k rovině" [3]

2.4.3 Tolerance sklonu

Tolerance sklonu čáry vztážená k přímce základny

Hlavní uplatnění pro tuto toleranci je zřejmé z obr. 28, a tím je především tolerance děr součástí (tzn. jejich os). Toleranční pole je vymezeno dvěma rovinami, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu tolerance „t“, a tyto roviny jsou zároveň skloněny k základně (ose) o předepsaný úhel. [2, 3]

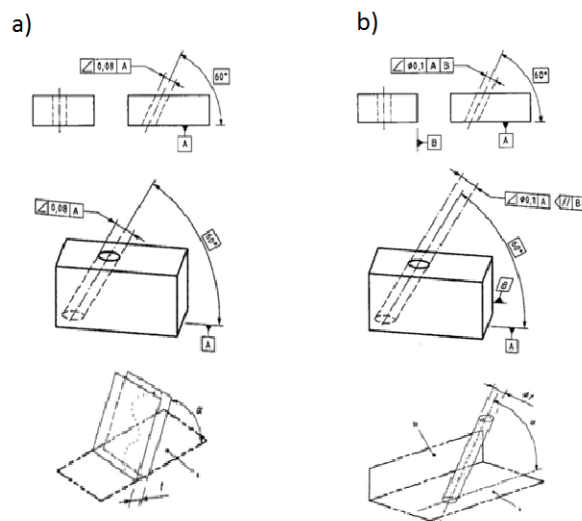


Obr. 28 Zobrazení tolerančního pole sklonu - "čára k přímce" [3]

Tolerance sklonu přímky vztážená k ploše základny

Stejně jako u předchozího typu tolerance se tato tolerance používá především k tolerování děr v součástech. V tomto případě je toleranční pole též vymezeno dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu tolerance „t“, a tyto roviny jsou skloněny k základně o předepsaný úhel (obr. 29a). [2, 3]

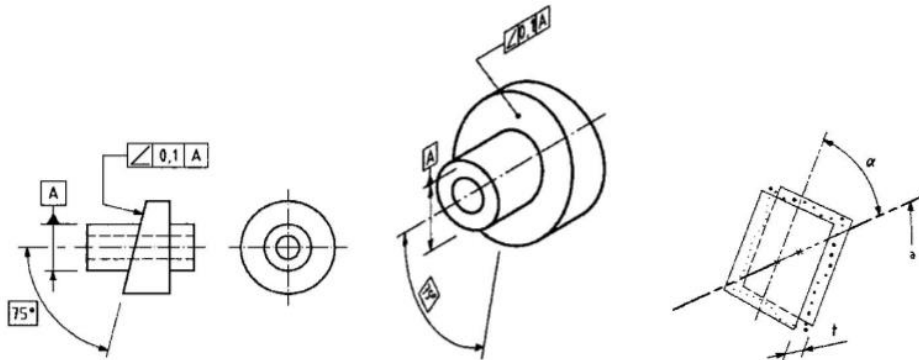
V případě, že se v tolerančním rámečku vyskytuje značka „Ø“, je toleranční pole tvořeno válcem, jehož průměr má hodnotu tolerance „t“. Toto toleranční pole je rovnoběžné se základnou B a je skloněné o předepsaný úhel k základně A (obr. 29b). [2, 3]



Obr. 29 Zobrazení tolerančního pole sklonu - "přímka k ploše" [3]

Tolerance sklonu plochy vztažená k přímce základny

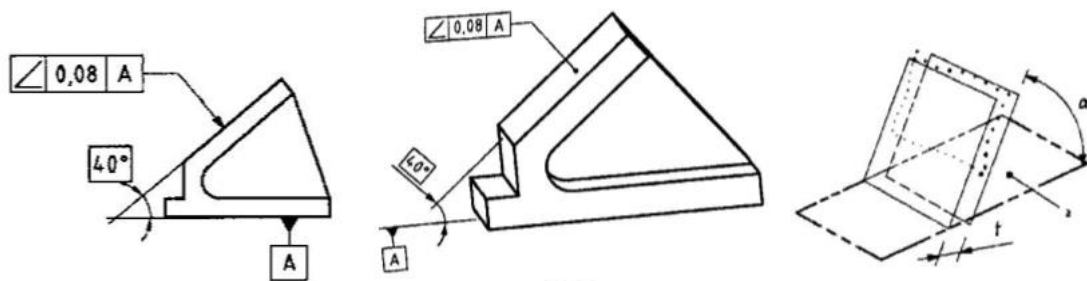
Definice tolerančního pole je stejná, jako u předchozích druhů tolerancí. V tomto případě je skloněna plocha k ose základny (obr. 30). [2, 3]



Obr. 30 Zobrazení tolerančního pole sklonu - "plocha k přímce" [3]

Tolerance sklonu plochy vztažená k ploše základny

Stejně tak jako u předchozího druhu tolerance, tento druh není výjimkou a definice tolerančního pole je úplně stejná. Jediný rozdíl, který je patrný z obr. 31, je ten, že základna je tvořena plochou, nikoli osou. [2, 3]



Obr. 31 Zobrazení tolerančního pole sklonu - "plocha k ploše" [3]

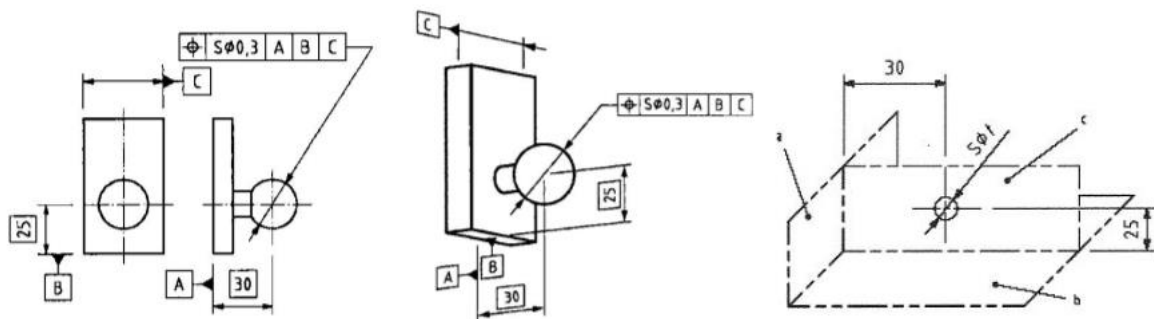
2.5 Tolerance umístění

2.5.1 Tolerance polohy

Tato tolerance se dále dělí na toleranci polohy bodu, polohy čáry a polohy rovinné polohy nebo střední roviny. [2, 3]

Tolerance polohy bodu

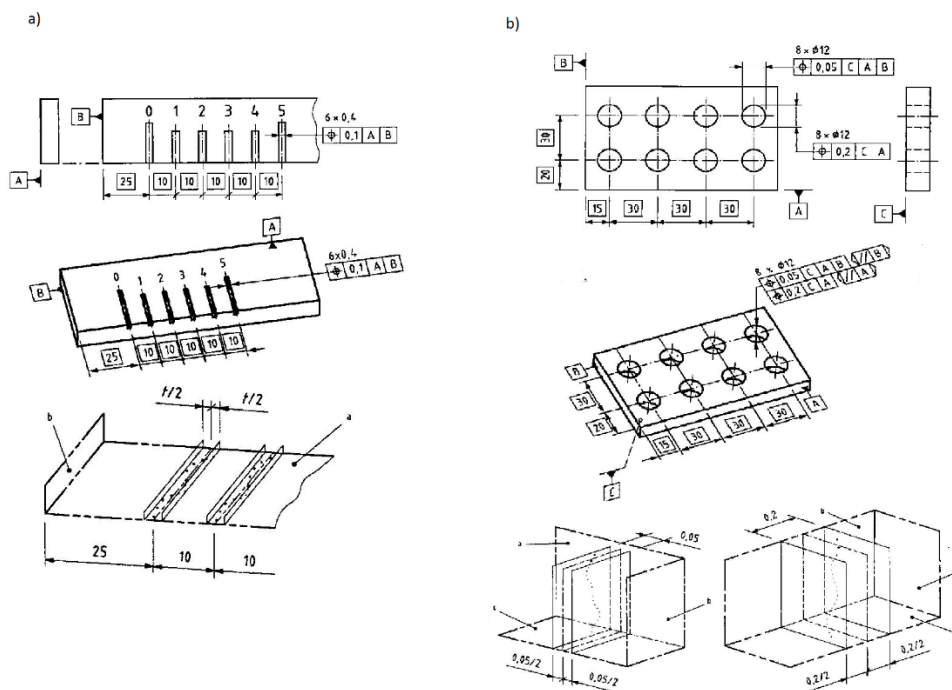
Z obr. 32 je patrné, že toleranční pole je vymezeno koulí, jejíž průměr má hodnotu velikosti tolerance „t“. V tomto případě musí být před číselnou hodnotou tolerance uvedena značka „S \emptyset “. Teoreticky přesné rozměry určují střed koule, která tvoří toleranční pole, vzhledem ke všem třem základnám. [2, 3]



Obr. 32 Zobrazení tolerančního pole polohy bodu [3]

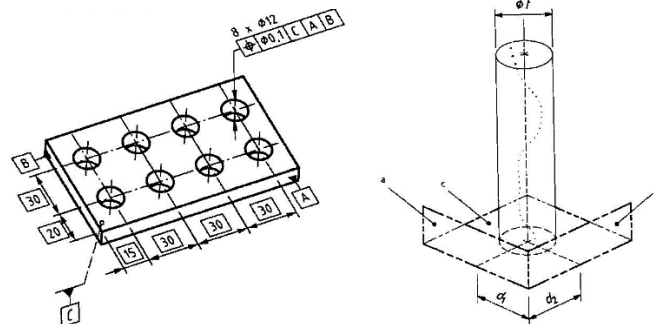
Tolerance polohy čáry

Toleranční pole je v tomto případě vymezeno dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu tolerance „t“. Teoreticky přesné rozměry nám určují polohu střední přímky (obr. 33a). Velmi často se tato tolerance používá na výkresové dokumentaci součástí, na kterých jsou rysky. Obr. 33b nám říká, že toleranční pole je vymezeno dvěma páry rovnoběžných rovin, které jsou od sebe symetricky vzdáleny o hodnoty tolerance „t1“ (0,05mm) a „t2“ (0,2mm). Tyto roviny jsou od teoreticky přesné polohy (T.P.P.) vzdáleny symetricky (např. $0,05/2=0,025\text{mm}$). Tolerance je platná ve vodorovném i v kolmém směru. [2, 3]



Obr. 33 Zobrazení tolerančního pole polohy čáry [3]

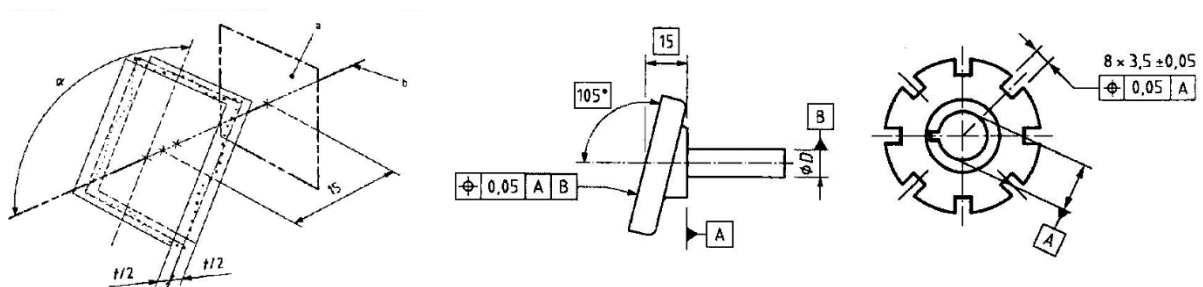
V případě, že je před hodnotou tolerance uvedena značka „ \emptyset “, znamená to, že toleranční pole je vymezeno válcem o průměru „ t “. Poloha tohoto válce je určena teoreticky přesnými rozměry vzhledem k základnám C, A, B (obr. 34). [2, 3]



Obr. 34 Zobrazení tolerančního pole polohy čára – válec [3]

Tolerance polohy rovinné plochy nebo střední roviny

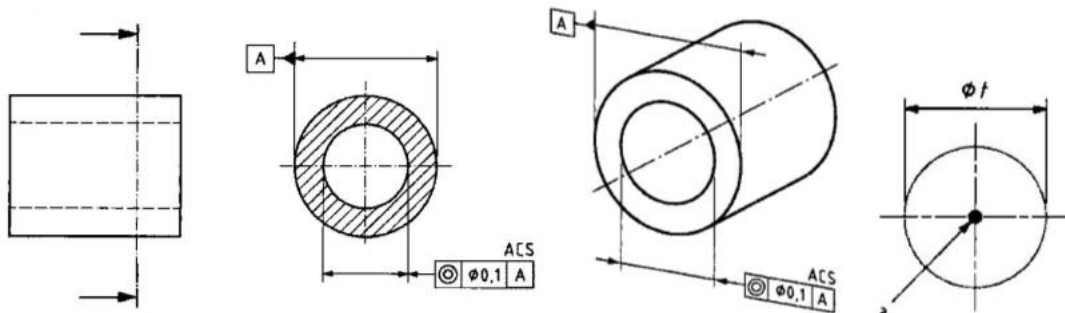
Toleranční pole je vymezeno dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu tolerance „ t “, a zároveň jsou okolo T.P.P. symetricky rozloženy. Poloha těchto rovin je určena teoreticky přesnými rozměry k oběma základnám (obr. 35). [2, 3]



Obr. 35 Zobrazení tolerančního pole polohy rovinné plochy nebo střední roviny [3]

2.5.2 Tolerance soustřednosti bodu

Soustřednost bodu je vymezena tolerančním polem, které je v tomto případě dáno kruhem o průměru „ t “, a před číselnou hodnotou tolerance musí být uvedena značka „ \odot “ (obr. 36). Střed základny se musí nacházet uvnitř tohoto kruhu o průměru 0,1 mm, který je soustředný s bodem základny A v libovolném průřezu. [2, 3]

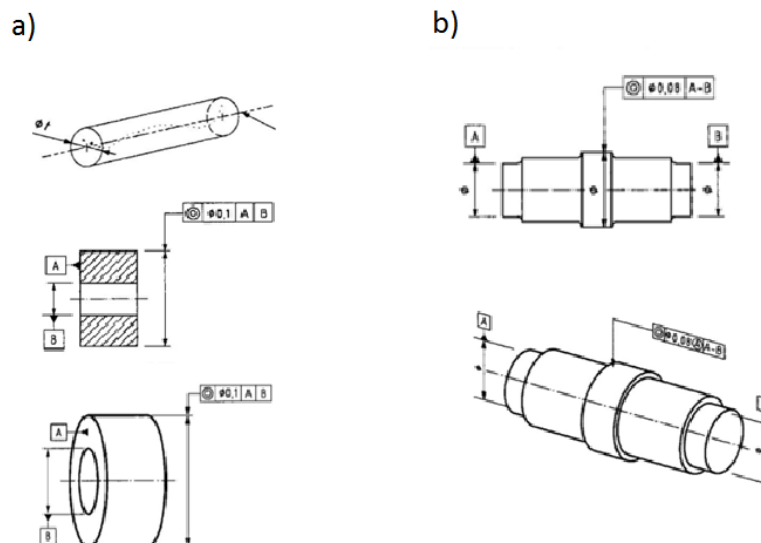


Obr. 36 Zobrazení tolerančního pole soustřednosti bodu [3]

2.5.3 Tolerance sousosti osy

Toleranční pole je v tomto případě vymezeno válcem, jehož průměr má hodnotu tolerance „ t “. Před číselnou hodnotou tolerance je uvedena značka „ \odot “. Osa tolerančního pole je shodná s minimálně jednou základnou. Jsou dva typy zápisu této tolerance. První zápis tolerance na obr. 37a říká, že skutečná osa velkého válce musí ležet v tolerančním poli (válcovém) o průměru 0,1 mm a základna B je osou kolmou na základnu A. [2, 3]

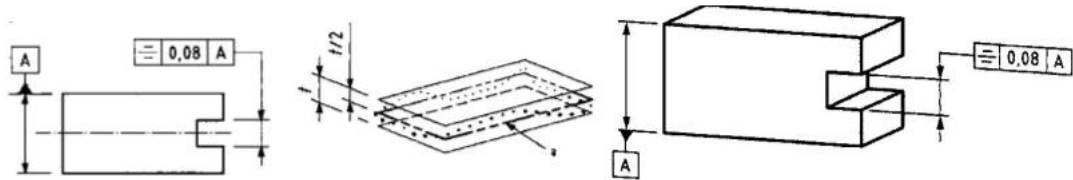
Druhý obrázek (obr. 37b) říká, že základny A a B jsou rovnoběžné s osou. Skutečná hodnota musí ležet uvnitř tolerovaného válce o průměru 0,08 mm. [2, 3]



Obr. 37 Zobrazení tolerančního pole sousosti osy [3]

2.5.4 Tolerance souměrnosti

Toleranční pole u tolerance souměrnosti je vymezeno dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdálené o velikost tolerančního pole „t“. Tyto roviny jsou ve stejné vzdálenosti od skutečné roviny. Dle potřeby se může souměrnost týkat jedné či více základen (obr. 38). [2, 3]



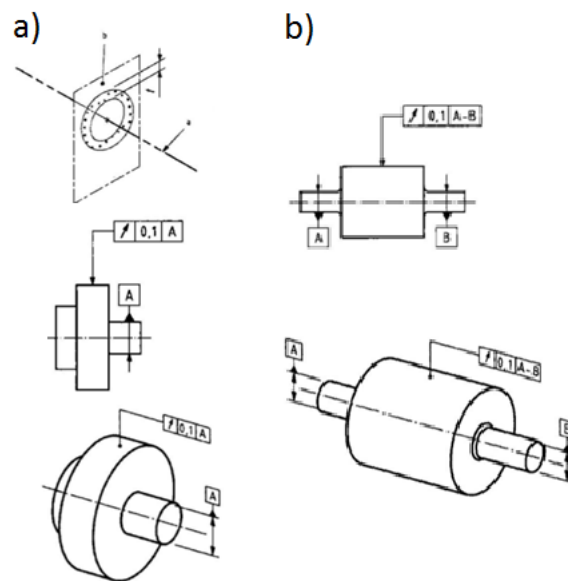
Obr. 38 Zobrazení tolerančního pole souměrnosti [3]

2.6 Tolerance házení

Házení se dělí do dvou základních skupin a několika podskupin. První skupina je házení kruhové, které se dále dělí na házení obvodové, čelní, házení v libovolném směru a na házení v daném směru. Vše bude rozebráno později. Druhá skupina házení, celkové házení, je dělena na házení obvodové a na házení čelní. [2, 3]

2.6.1 Tolerance kruhového házení obvodového

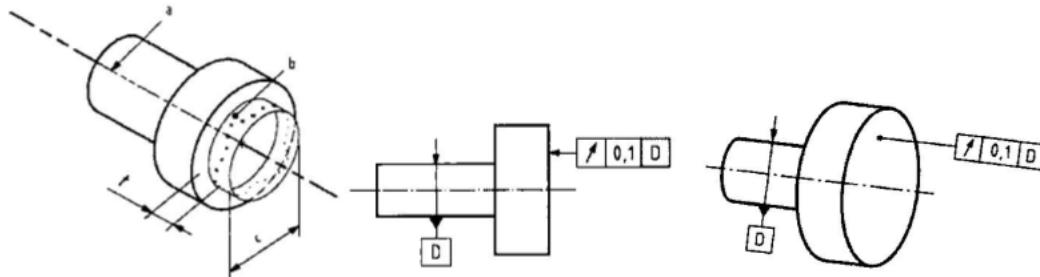
Toleranční pole je pro tento typ házení vymezeno dvěma soustřednými kružnicemi, které jsou kolmé k základně a toleranční pole „t“ je rozdíl poloměrů těchto kružnic. Středů kružnic jsou shodné se základnou (obr. 39). Ve většině případů se obvodové kruhové házení vztahuje k celým prvkům, ale existují i výjimky, kdy se vztahuje pouze k omezeným částem prvku. Obr. 39a a obr. 39b znázorňují, že skutečná čára musí ležet v tolerančním poli 0,1 mm mezi soustřednými kružnicemi kolnými na rovinu průřezu k základně A. Druhý obrázek značí společnou základnu A-B. [2, 3]



Obr. 39 Zobrazení tolerančního pole kruhového házení obvodového [3]

2.6.2 Tolerance kruhového házení čelního

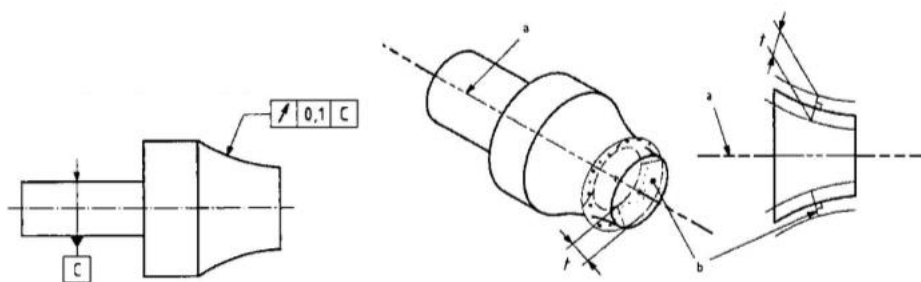
V tomto případě je toleranční pole vymezeno dvěma kružnicemi, které jsou od sebe vzdáleny o vzdálenost „t“ (velikost tolerančního pole) a společně tvoří válcový průřez (obr. 40). Tyto kružnice mají střed na stejné ose. Na obr. 40 je znázorněno tolerování kruhového házení čelního, kdy osa je shodná se základnou D a zjištěná čára musí ležet ve válcovém průřezu. Kružnice jsou od sebe vzdáleny 0,1 mm. [2, 3]



Obr. 40 Zobrazení tolerančního pole kruhového házení čelního [3]

2.6.3 Tolerance kruhového házení v libovolném směru

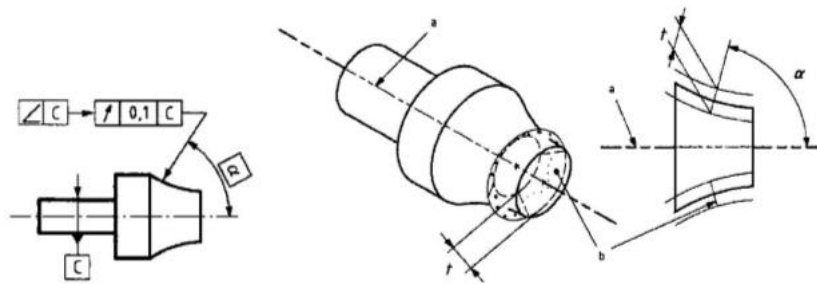
Toleranční pole je vymezeno dvěma kružnicemi, jejichž středy leží na stejné ose a tyto kružnice jsou od sebe vzdáleny o velikost toleranci „t“. V tomto případě má toleranční pole šířku ve směru normály k předepsané geometrii, pokud to není předepsáno jinak. Z obr. 41 je patrné, že kružnice jsou od sebe vzdáleny 0,1 mm. Pokud tvořící čára tolerovaného prvku nemá tvar přímky, vrcholový úhel kuželového průřezu se bude měnit v závislosti na skutečné poloze. [2, 3]



Obr. 41 Zobrazení tolerančního pole kruhového házení v libovolném směru [3]

2.6.4 Tolerance kruhového házení v daném směru

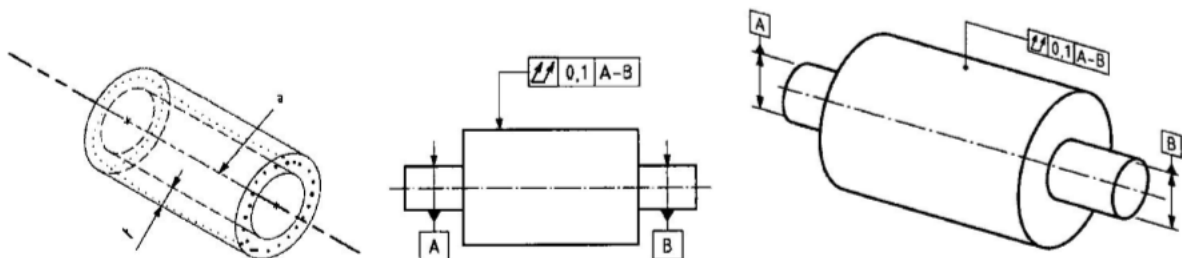
Na první pohled se může zdát, že je tento typ tolerance shodný s tím předchozím (tolerance kruhového házení v libovolném směru). Toleranční pole je vymezeno v kterémkoliv kuželovém průřezu s daným úhlem kužele (úhel α) dvěma kružnicemi, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu tolerance „t“. Tyto kružnice mají shodnou osu. Na obr. 42 je hodnota tolerance 0,1 mm a skutečná čára musí ležet uvnitř průřezu, který je nakloněný o úhel α . [2, 3]



Obr. 42 Zobrazení tolerančního pole kruhového házení v daném směru [3]

2.6.5 Tolerance celkového obvodového házení

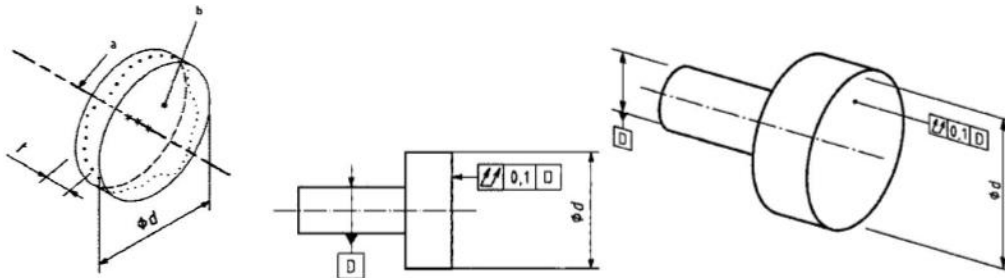
Tato tolerance se používá u tolerování válcových ploch. Toleranční pole je vymezeno dvěma sousými válci. Rozdíl jejich poloměrů je velikost tolerance „t“. Na obr. 43 jsou osy obou základen A a B shodné s osami tolerančních válců. Vlivem úchylek válcovitosti a sousosti dochází k celkovému obvodovému házení. [2, 3]



Obr. 43 Zobrazení tolerančního pole celkového házení obvodového [3]

2.6.6 Tolerance celkového čelního házení

Toleranční pole je vymezeno dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu tolerance „t“ a zároveň jsou tyto roviny kolmé k základně (obr. 44). K čelnímu celkovému házení dochází kvůli nepřesné rovinnosti čelní plochy a kolmosti k základní ose.



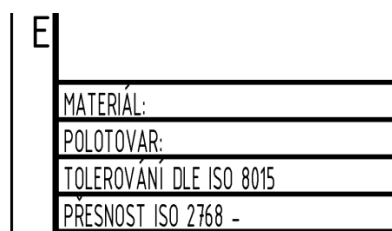
Obr. 44 Zobrazení tolerančního pole celkového házení čelního [3]

3 Úprava rozměrů normami

3.1 ČSN ISO 2786

Každá součást, která nemá u jednotlivých kót předepsané tolerance, se toleruje podle normy ČSN ISO 2768. Tato norma se dělí na dvě části – ČSN ISO 2768 – 1, která vysvětluje nepředepsané mezní úchyly délkových a úhlových rozměrů, a normu ČSN ISO 2768 – 2, která vysvětluje nepředepsané geometrické tolerance. Tyto normy jsou velmi užitečné kvůli usnadnění orientace ve výkresu součástí. Výkres není přehlcený zbytečnými geometrickými a rozměrovými tolerancemi a lze z něho snadno vyčíst právě ty geometrické tolerance, které jsou nezbytné pro správné fungování součásti. Při měření se jedná hlavně o zjištění úhylek předepsaných hodnot a v případě, že by se náhodně změřily i geometrické tolerance nepředepsané a byly by mimo toleranční pole, nemuselo by to ihned znamenat, že je součást vhodná k vyřazení, protože by tato plocha nemusela plnit žádnou funkci. [2, 3]

Pokud nejsou v popisovém poli výkresu (obr. 45) uvedeny tolerance (např. ISO 2768 – mK) musí každá délková či úhlová kóta obsahovat hodnotu tolerance. [2, 3]



Obr. 45 Část razítka výkresu [8]

3.1.1 ČSN ISO 2768-1

Norma ČSN ISO 2768–1 rozděluje jednotlivé tolerance na dvě skupiny. První skupina, která obsahuje malé písmeno, se dále dělí do čtyř tříd přesnosti. Označení a název tříd přesnosti jsou patrné z tab. 2, 3 a 4. [4]

Tab. 2 Mezní úchytky délkových rozměrů kromě zkosení hran [4]

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. 3 Mezní úchytky zkosení a zaoblení hran [4]

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

U úhlových rozměrů (tab. 4) mezní úchytky udávají pouze všeobecný směr přímek či přímkových prvků ploch. Neudávají úchytky jejich tvaru. Všeobecný směr přímky udává norma ČSN ISO 8015. [4]

Tab. 4 mezní úchytky úhlových rozměrů [4]

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'

3.1.2 ČSN ISO 2768–2

Druhá část normy ISO 2768 určuje nepředepsané geometrické tolerance. Výjimkou jsou tolerance válcovitosti, profilu, plochy, sklonu, souososti, umístění a celkového házení. Tato norma se dá rozdělit na dvě části – tolerance osamělých prvků a tolerance sdružených prvků. [5]

Tolerance osamělých prvků

U tolerance přímosti se volí hodnota z tab. 5 podle délky příslušné přímky a u tolerance rovinnosti se hodnota volí podle délky delší strany plochy nebo většího průměru kruhové plochy. Do této kategorie spadá i tolerance kruhovitosti, u které je její všeobecná tolerance rovna numerické hodnotě průměru. Nikdy ale nesmí být tato hodnota větší než příslušná hodnota tolerance kruhového obvodového házení. Tato tolerance je rozdělena do třech tříd přesnosti, které se označují velkými písmeny. Označení je patrné z následujících tabulek (tab. 5, 6, 7). [5]

Tab. 5 Všeobecné tolerance přímosti a rovinnosti [5]

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

Tolerance sdružených prvků

V této skupině platí níže uvedené tolerance pro prvky, když jsou mezi sebou ve vzájemném vztahu a když nemají vlastní samostatný předpis. [5]

Všeobecná tolerance rovnoběžnosti je rovna numerické hodnotě tolerance rozměru nebo tolerance přímosti či rovinnosti. Záleží na tom, která z nich je větší. Za základnu se považuje ten prvek, který je delší. Nastane-li případ, že oba prvky mají stejnou délku, je jedno, který je považován za základnu. [5]

U kolmosti jsou hodnoty tolerance uvedeny v tab. 6. Základnou je ta strana, která je delší a tvoří pravý úhel. Stejně tak jako u rovnoběžnosti jsou - li stany stejně dlouhé, může být považována za základnu kterákoliv z nich. [5]

Tab. 6 Všeobecné tolerance kolmosti [5]

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

V tabulce níže (tab. 7) jsou uvedeny všeobecné tolerance souměrnosti. Ani v tomto případě není výjimka – za základnu se považuje delší z obou souměrných prvků, a pokud mají prvky stejnou délku, základnou může být jakýkoliv z nich. [5]

Tab. 7 Všeobecné tolerance souměrnosti [5]

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. 8 uvádí hodnoty všeobecné tolerance kruhového házení, které může být obvodové, čelní a v libovolném směru. Základnami mohou být plochy pro ložiska (musí být takto označeny). V případě kruhového házení obvodového, se považuje za základnu ten prvek, který je delší. V případě stejné délky prvků, nezáleží na tom, jaký prvek je brán za základnu. [5]

Tab. 8 Všeobecné tolerance kruhového házení [5]

Rozměry v mm

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

3.2 ČSN ISO 8015

Tato norma upravuje základní vztahy mezi tolerancemi rozměrů a geometrickými tolerancemi. Jsou dva druhy tolerancí - závislé a nezávislé. Z této normy vyplývá pravidlo nezávislosti, která nám říká, že geometrické tolerance se musí posuzovat nezávisle s délkové a úhlové rozměry s mezními úchylkami. Pokud se do popisového pole výkresu uvede „ANO“, musí popisové pole též obsahovat údaje o přesnostech netolerovaných rozměrů, a tím pádem jsou geometrické tolerance závislé s těmi rozměrovými (dédkové a úhlové). Závislé tolerance včetně značek jsou v tab. 9. [7]

Tab. 9 Podmínky závislosti [7]

Popis	Značka
Podmínka obalové plochy	E
Podmínka minima materiálu	M
Podmínka maxima materiálu	L
Podmínka posunutého tolerančního pole.	P
Podmínka recipacity	R

4 Měření geometrických tolerancí

4.1 Chyby měření

Chyb, které mohou měření ovlivnit, je několik. Chyby můžeme dělit několika způsoby. Základní rozdělení je na absolutní a relativní. Dále se chyby dělí podle způsobu vzniku (soustavné a nahodilé) a podle příčiny vzniku (chyby metody, chyby měřicích přístrojů a ostatní chyby).

4.1.1 Absolutní a relativní chyby

Absolutní chyba (Δ) je jednoduše vyjádřena jako rozdíl mezi naměřenou (y) a skutečnou hodnotou (x_0). [6]

$$\Delta = |y - x_0|$$

Je třeba brát v potaz to, že je nemožné naměřit zcela přesnou hodnotu, a proto je zde pojem „konvenčně pravá hodnota“. K docílení přesnější hodnoty se měření musí opakovat vícekrát s použitím aritmetického průměru, nebo se musí použít přesnější metoda měření. Proto se zavádí chyba relativní, která udává výsledek v procentech. [6]

$$\delta = |\Delta / y| \cdot 100 [\%]$$

4.1.2 Systematické chyby

Systematická neboli soustavná chyba se dá dělit dvěma způsoby.

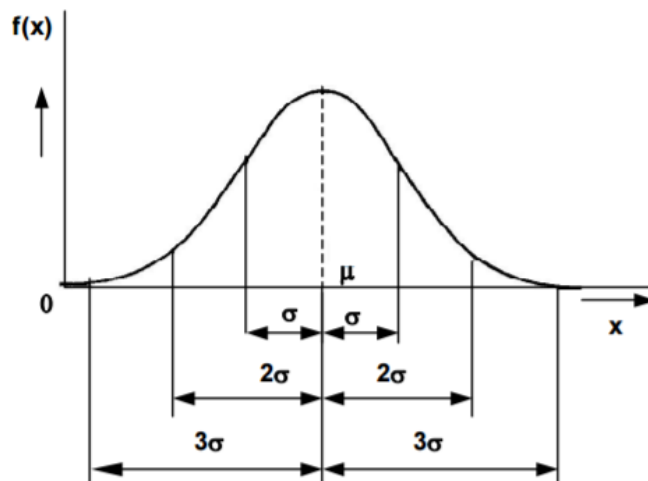
První dělení je dělení dle poznatelnosti chyby. Chyba může být zjistitelná, což znamená, že má konkrétní znaménko a je rovna hodnotě po korekci naměřené hodnoty. Druhá podskupina chyb dělení dle poznatelnosti jsou chyby neznámé. Ty jsou brány jako chyby nahodilé, protože nemají konkrétní znaménko.

Druhé dělení chyb je podle příčiny vzniku. Do této skupiny chyb patří chyby měřidla, které jsou způsobeny špatnou montáží, nepřesnou výrobou měřidla a vadami vzniklými špatným používáním. Dále tu jsou chyby vzniklé špatnou měřicí metodou, což může být např. i špatné upnutí součásti (vyosení, deformace ve sklíčidle,...). Samozřejmě i lidský faktor má vliv na měření. [6]

Chyby způsobené člověkem se nazývají chyby osobní a jsou způsobeny neopatrností při měření, špatným odečtem ze stupnice, který může být způsoben nedostatečnou kvalifikací a špatnou manipulací, která zároveň souvisí i s poslední podskupinou chyb - chyby způsobené vlivem prostředí. V předcházející větě byla zmíněna špatná manipulace. Způsobuje ohřátí součástky a její následné teplotní roztažení. Do této podskupiny patří teplotní roztažnost, vlhkost, prach, vibrace apod. [6]

4.1.3 Náhodné chyby

Náhodné chyby jsou způsobeny náhodnými příčinami a při každém měření za stejných podmínek (stejná osoba, stejná metoda, měřidlo, atd.) mají jinou hodnotu. Tomuto jevu se říká rozptyl. Při měření náhodných chyb se využívá Gaussova normálního rozdělení četnosti pravděpodobnosti výsledku, který říká že interval $\langle \mu - \sigma, \mu + \sigma \rangle$ obsahuje 68,27 % náhodné veličiny, interval $\langle \mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma \rangle$ obsahuje 95,45% náhodné veličiny a interval $\langle \mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma \rangle$ obsahuje 99,73% náhodné veličiny. Znak „ μ “ značí střední hodnotu. Jednoduše lze říci, že čím více „ σ “ (sigma) výroba má, tím větší procento objemu výroby je způsobilé. [6]



Obr. 46 Gaussovo rozdělení [6]

4.2 Souřadnicové měřicí stroje

Souřadnicové měřicí stroje (SMS) se v dnešní době využívají velmi často. Urychlují, zpřesňují měření a zabraňují chybě člověka při přímém měření. Chyb, které může udělat člověk, je ale stále mnoho. Např. při upínání měřené součásti do sklíčidla se použije veliká síla, a tím pádem dojde k deformaci součásti. Na strojích SMS se měří ve třech osách X, Y, Z a základní bod se může určit kdekoliv v místě pracovního prostoru. Je třeba dát pozor na určení souřadného systému [6]

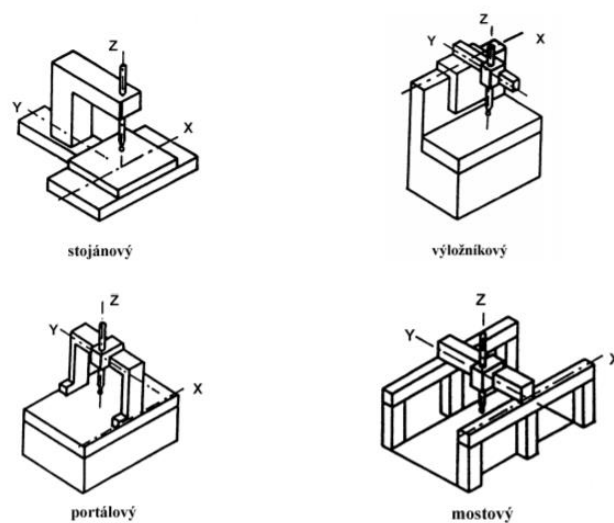
4.2.1 Složení SMS a jejich druhy

Měřicí stroje jsou tvořeny rámem, stolem, pinolou, vedením a dle typu SMS buď mostovou konstrukcí, portálem, anebo sloupem. Rám musí být velice tuhý a může být kombinací několika materiálů (kompozity, keramika apod.). Stůl slouží jako podklad pro měřenou součást. Nejčastěji bývá vyroben ze žuly či granitu. Stůl musí být vyroben s velmi přesnou rovinností a musí odolávat teplotní roztažnosti, opotřebení a korozi. Pinola může mít vertikální či horizontální provedení a její průřez může být čtvercový či kruhový. Pokud je pinola horizontální, je třeba ji vyrobit velice tuhou, aby nedocházelo k prohýbání pod její vlastní hmotností a hmotností snímací hlavy. Vedení musí zajišťovat plynulý a přesný pohyb. [6]

Jsou tři typy vedení (kluzné, valivé a aerostatické). Kluzné vedení je sice velice tuhé, ale vyžaduje časté mazání. Mazání má za následek měnící se přesnost. Valivé vedení má nízký valivý odpor a je velmi odolné vůči opotřebení. Pohyb ve valivém vedení zajišťují přesné kladky a kuličková hnízda. Asi nejlepší druh vedení na SMS je vedení aerostatické. Konstrukce se pohybuje po vzduchových polštářcích o tloušťce cca $6 \mu\text{m}$. Toto provedení zajišťuje plynulý

pohyb s minimálním odporem i při vysokých rychlostech, je velice tuhé a další výhodou je to, že do přesnosti měření nezasahuje např. prach, který se nachází na stole. [6]

Nezbytnou součástí SMS je počítač se speciálním softwarem, který je dodáván společně s měřicím strojem a výrobce stroje si sám vyrábí i software na měření. Souřadnicové měřicí stroje se dělí podle konstrukčního uspořádání (obr. 47) na SMS výložníkové, mostové, pinolové, sloupové (stojánové). Moderní trend je spojení CAD/CAM se softwarem na SMS. [6]



Obr. 47 Druhy souřadnicových měřicích strojů [6]

4.2.2 SMS mostové

Souřadnicové stroje mostového typu jsou používány především na měření součástí větších rozměrů (pohyb v ose X je až 24 m). Z obr. 48 je zřejmé, že k měřené součásti má obsluha dobrý přístup, ale čím větší stroj je, tím větší je nepřesnost. Použití pro tyto měřicí stroje se našlo hlavně v automobilovém a leteckém průmyslu kvůli možnosti měřit součást až na pěti stranách při jednom ustavení. [6]



Obr. 48 Mostový SMS MMZ E od firmy Zeiss [9]

4.2.3 SMS výložníkové

Oproti SMS s mostovou konstrukcí je měření trochu omezeno velikostí měřené součásti, ale přístup k součásti je snadnější. Proto se používá ke kontrole výrobků spíše větších délek a malých průměrů, protože rameno má kvůli potřebné tuhosti omezený pohyb do osy Y (obr. 49). [6]



Obr. 49 Výložníkový SMS DuraMax HTG od firmy Zeiss [9]

4.2.4 SMS portálové

Použití portálových souřadnicových měřicích strojů je jasné z obr. 50. Portálové SMS se používají na součásti o větších rozměrech. Jejich rám je velice tuhý a to znamená velikou přesnost. Přístup k měřené součásti je v některých případech omezen. Jsou dva typy portálových SMS – pevný nebo pohyblivý portál. U pevného portálu pohyb v osách zajišťuje pohyblivý stůl. [6]



Obr. 50 Portálový SMS Accura 2000 od firmy Zeiss [9]

4.2.5 SMS stojanové

Tento druh SMS je velmi používaný ve firmách, které se zabývají měřením menších součástí (laboratorní měření). Jedná se o jeden z nejpřesnějších strojů. Stoly u stojanových SMS jsou vybaveny dělicími stoly. Rameno může být horizontální (obr. 51) nebo vertikální. Horizontální se většinou používá při měření průchozích otvorů, kde osa otvoru je ve vodorovné poloze. [6]



Obr. 51 Stojanový SMS PRO od firmy Zeiss s horizontálním ramenem [9]

5 Praktická část

Cílem praktické práce bylo naměření a zhodnocení výsledků měření dané součástky podle výkresu a popsání měření.

5.1 Informace o podniku

Praktická část bakalářské práce byla dělána ve firmě KYB Manufacturing s.r.o., která sídlí v Pardubicích v městské části Staré Čívce. Tato japonská firma patří mezi největší výrobce tlumičů do automobilů na světě. Její historie sahá až do roku 1919, kdy 19. listopadu založil pan Shiro Kayaba výzkumné středisko, jehož název neslo jeho příjmení. Vyrábí tlumiče převážně do automobilů značek Smart, Renault, Nissan, Toyota, Suzuki a skupinu TPCA (Toyota Peugeot Citroën Automobile) sídlící u Kolína. KYB nevyrábí pouze tlumiče do automobilů výše zmíněných značek, ale také dělá posilovače řízení, tlumiče budov při zemětřesení a různé elektronické zařízení pro lodě, vlaky či zemědělská zařízení. Výroba je založena na principech řízení výroby jako je metoda 5S, Kanban, Kaizen, Poka – Yoke a další. Celosvětově má firma 32 poboček a 15 výrobních továren celkem ve 21 zemích. [10, 11]

Firma tyto tlumiče dále exportuje do Evropy, Ruska a Jižní Ameriky. V pardubické pobočce nyní pracuje cca 650 zaměstnanců. [10, 11]

5.2 Zadaný výkres

Výkres (příloha 1), který byl vybrán pro měření potřebné k bakalářské práci, byl zvolen z jednoho prostého důvodu. Jediná automobilka, která používá na výkresové dokumentaci hodně geometrických tolerancí, je firma Renault. Konkrétně se jednalo o přední tlumič do vozů Renault Clio. Na zadním tlumiči bylo velmi málo rozměrů k měření. Tělo tlumiče se skládá z tzv. „spring seatu“, který slouží z připevnění pružiny k tělu tlumiče, ze „stabilu“, který slouží k připevnění tlumiče k samotnému kolu.

Vybraný výkres obsahoval velké množství pochybně zakótovaných rozměrů i geometrických úchylek. To bylo nejspíš způsobeno tím, že firma Renault používá automatické kótování, které si dělá PC sám. První změna byla u základny C, kdy není jako podle výkresu vnitřní hranou (toho spodního úchyty), ale je to virtuálně vytvořená plocha, která je rovnoběžná s osou součásti. Jako velkou chybu jsme shledali zapsání úchylky sklonu u „spring seatu“. Základny D a E by nikdy nemohly být soustředné se základnou C i v tom případě, že jsme si polohu základnu C změnili.

5.3 Měření součástky

Měření probíhalo na měřicím stroji od firmy Hexagon metrology, přesněji na typu ROMER ABSOLUTE ARM (obr. 52) s integrovaným skenerem. Byla tu i druhá možnost při volbě SMS. Druhý stroj 3D od výrobce Mitutoyo by byl pro naše měření také vhodný, ale jelikož se musí připravit program na konkrétní součást, měření by bylo velmi zdlouhavé a pro dosažení úchylek v řádech desetin milimetru nebylo třeba tento souřadnicový stroj používat. Velkou výhodou tohoto stroje je otočná hlava, která se sice nedokáže otočit dokola kolem osy Z o 360°, ale o 180° avšak na jednu i druhou stranu. Další věc, která stojí na tomto stroji za zmínku, je naklopení hlavy od osy X o více než 90°, takže je možné snímat na spodní straně součásti i díry malých průměrů.



Obr. 52 Romer Absolute Arm [12]

Přístroj Romer je velmi jednoduchý na ovládání, ale s přesností je to už horší. Je to kvůli tomu, že měřicí hlava neměla senzor přítlačného tlaku, takže při měření docházelo k malým chybám. To ovšem na měření vliv nemělo, protože bylo docíleno naměření všech potřebných geometrických úchylek a zároveň zadaný výkres neobsahoval velmi přesné úchylky. Tento přístroj lze použít pro kontaktní měření, stejně tak jako i na bezkontaktní. V našem případě bylo použito pouze měření kontaktní pomocí rubínové koule.

Nejprve bylo důležité promyslet si, jak správně upnout součást, protože její polohu během měření nelze měnit. První pokus byl spíše seznamovací. V průběhu měření jsme zjistili, že by bylo nemožné změřit všechny geometrické úchylky, které jsme požadovali. Tudíž bylo třeba

přepnout součást. Nejprve byla součást upnuta do magnetického upínače, poté do svěráku. Po vhodně zvoleném přepnutí se mohlo začít měřit znova, kdy elementy, které byly definovány, se musely přeměřit. Možnost upravit polohy elementů či jejich rozměry je velkou výhodou softwaru PolyWorks.

Software PolyWorks od Hexagonu je velmi podobný softwaru Calypso od firmy Zeiss, se kterým jsem se mohl při studiu v letním semestru celkem dobře seznámit. Jelikož nelze rovnou naměřit požadovanou geometrickou úchylku bez předem definovaných elementů. Tyto elementy obsluha získá definováním potřebného počtu bodů v potřebné rovině či prostoru. Elementy jsou většinou roviny, kružnice, válce, koule, osy, body, atd. Oba tyto softwary mohou pracovat s CAD modelem.

Nejtěžší bylo měření sklonu, protože jak už bylo zmíněno, výkres od firmy Renault obsahoval chybné zakótování základen. Z toho důvodu bylo třeba si základny trochu poupravit. Museli jsme použít sklon části vůči základní ose.

5.4 Vyhodnocení měření

Posledním krokem celého měření bylo vytvoření měřicího protokolu (příloha 2). Kvůli přehlednosti a snížení rozsahu jsou všechny měřené úchylky na jedné straně. Z protokolů je jasně vidět, že všechny geometrické úchylky, které bylo třeba naměřit, jsou v předepsané toleranci, a tudíž vyhovují. Domněnka, že tomu tak bude, se naplnila. Výrobní proces v tomto případě dokázal splnit veškeré požadavky, které zákazník po firmě požadoval. První strana měřicího protokolu obsahuje grafické zobrazení polohy všech prvků, které jsme měřili, včetně přehledu geometrických úchylek, které jsou čarou spojené přímo s měřeným prvkem, aby byl výsledek zřejmý i pracovníkovi, který se v oblasti metrologie příliš nepohybuje.

Při měření bylo uděláno několik chyb, které ovšem na výsledek vliv neměly. V laboratoři byla nestálá teplota. Nejprve cca 22 °C, poté až skoro 25 °C. Teplota se měnila proto, že v laboratoři bylo více lidí najednou a klimatizace byla vypnuta. Kdybychom chtěli dosáhnout velmi kvalitního měření, musela by teplota být ustálena na dané teplotě. Tato teplota by mohla být dána firmou Renault, aby zároveň splňovala jejich délky za předepsané teploty. Naopak za velmi dobré považuji sílu upnutí do svěráku, která byla přiměřená, a nedošlo k deformaci.

Měření hodnotím za úspěšné, protože všechny geometrické úchylky byly v tolerancích uvedených na výkresu, a kromě nutného přepnutí nedošlo ke komplikacím.

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit se s geometrickými tolerancemi, aby následně mohlo proběhnout měření tlumiče do automobilu Renault Clio ve firmě KYB Manufacturing, s.r.o. Hlavním zdrojem informací byly normy ČSN ISO, které jsou nezbytné pro orientaci a pochopení geometrických tolerancí. Prvním krokem bylo vypsání základních informací. Poté následoval výčet a popis všech geometrických tolerancí, se kterými se dnes můžeme setkat. Všech proto, že je dobré všechny znát a umět použít, protože se někdy liší opravdu jen v maličkostech. Aby bylo dodrženo téma „Metody měření geometrických tolerancí výrobků“, tak druhá část bakalářské práce obsahuje informace o měření geometrických tolerancí, včetně souřadnicových měřicích strojů, které se v dnešní době používají nejvíce a mají použití nejen v měření geometrických tolerancí a rozměrů, ale také při „reverse engineeringu“. Samozřejmě je v práci i zmínka o ručních měřidlech, protože považuji za nezbytné znát a umět použít alespoň ty zmíněné (viz. kapitola 5).

Praktická část obsahuje záznam z měření ve firmě KYB Manufacturing. Měřil se tlumič do automobilu Renault Clio na stroji od firmy Hexagon. Všechny měřené úchytky byly v požadovaných tolerancích i přes to, že jsme se při měření dopustili několika chyb.

Tvorba této bakalářské práce mi přinesla prohloubení znalostí nejen z oblasti geometrických tolerancí, ale i metrologie. Poznal jsem reálný provoz laboratoře v prosperující firmě a vyzkoušel si práci se, v té době neznámým, softwarem. Dále jsem zhodnotil, že firma Zeiss je špičkou ve výrobě SMS, protože jejich stroje, ale i softwary, jsou na špičkové úrovni a velmi snadné na ovládání.

7 Seznam použitých zkratek

SMS – souřadnicový měřicí stroj

Atd. – a tak dále

Např. - například

T.P.P. – teoreticky přesný rozměr

Tzn, - to znamená

Apod. – a podobně

8 Seznam použité literatury

- [1] SLANEC, K. *Konstruování: Geometrická přesnost výrobků*. 1.díl, Praha: ČVUT, 2004
- [2] SLANEC, K. *Konstruování: Geometrická přesnost výrobků*. 3.díl, Praha: ČVUT, 2004
- [3] ČSN EN ISO 1101. *Geometrické specifikace výrobků (GPS) - Geometrické tolerování – Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [4] ČSN ISO 2768-1. *Všeobecné tolerance - Nepředepsané mezní úchylky délkových a úhlových rozměrů*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [5] ČSN ISO 2768-2. *Všeobecné tolerance Část 2: Nepředepsané geometrické tolerance*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [6] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie 1*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 2004.
- [7] ČSN EN ISO 8015. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Základy - Pojmy, principy a pravidla*. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [8] PETR, K., Formáty a razítka [online] 22.6.2017 [cit. 2017-6-22], dostupné online z: <https://seps.fs.cvut.cz/SK1>
- [9] ZEISS, Souřadnicové měřicí stroje [online] 21.6.2017, dostupné online z: <https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/systemy.html>
- [10] Seznámení z KYB [online] 22.6.2017 [cit. 2017-6-22] Dostupné z: <http://www.kmcz.cz/filedownloads-70-15daacf0fd25>
- [11] KYB Company profile 2015 [online] 22.6.2017 [cit. 2017-6-22] Dostupné z: <http://www.kmcz.cz/filedownloads-658-3d18e9ee6c50>
- [12] HEXAGON Metrology Romer Absolute Arm [online] 27.6.2017 [cit. 2017-6-27] Dostupné z: <http://www.hexagonmi.com/products/portable-measuring-arms/romer-absolute-arm>

9 Seznam obrázků

Obr. 1 Příklady tolerančních polí [3].....	2
Obr. 2 Zobrazení základen I [3]	3
Obr. 3 Zobrazení základny II [3].....	3
Obr. 4 Toleranční rámečky I. [3].....	4
Obr. 5 Toleranční rámečky II. [3]	4
Obr. 6 Tolerované prvky I. [3]	5
Obr. 7 Tolerované prvky II. [3].....	5
Obr. 8 Tolerované prvky III. [3]	6
Obr. 9 Přehled a zobrazení geometrických tolerancí tvaru [3].....	6
Obr. 10 Přehled a zobrazení geometrických tolerancí směru [3]	6
Obr. 11 Přehled a zobrazení geometrických tolerancí umístění [3]	7
Obr. 12 Přehled a zobrazení geometrických tolerancí házení [3]	7
Obr. 13 Zobrazení tolerančního pole u přímosti [3].....	8
Obr. 14 Zobrazení tolerančního pole u rovinnosti [3].....	8
Obr. 15 Zobrazení tolerančního pole u kruhovitosti [3].....	9
Obr. 16 Zobrazení tolerančního pole u válcovitosti [3]	9
Obr. 17 Zobrazení tolerančního pole profilu čáry [3]	10
Obr. 18 Zobrazení tolerančního pole profilu povrchu [3].....	10
Obr. 19 Zobrazení tolerančního pole přímosti - "přímka s přímkou" [3].....	11
Obr. 20 Zobrazení tolerančního pole přímosti - "přímka s rovinou" [3].....	12
Obr. 21 Zobrazení tolerančního pole přímosti - "roviny s přímkou" [3]	12
Obr. 22 Zobrazení tolerančního pole přímosti - "rovina s rovinou" [3].....	13
Obr. 23 Zobrazení tolerančního pole kolmosti – „přímky k přímce“ [3].....	13
Obr. 24 Zobrazení tolerančního pole kolmosti - "přímky k rovině" [3].....	14
Obr. 25 Zobrazení tolerančního pole kolmosti - "přímky k ploše" [3]	14
Obr. 26 Zobrazení tolerančního pole kolmosti - "roviny k přímce" [3].....	15
Obr. 27 Zobrazení tolerančního pole kolmosti - "roviny k rovině" [3].....	15
Obr. 28 Zobrazení tolerančního pole sklonu - "čára k přímce" [3].....	16
Obr. 29 Zobrazení tolerančního pole sklonu - "přímka k ploše" [3].....	16
Obr. 30 Zobrazení tolerančního pole sklonu - "plocha k přímce" [3].....	17
Obr. 31 Zobrazení tolerančního pole sklonu - "plocha k ploše" [3].....	17
Obr. 32 Zobrazení tolerančního pole polohy bodu [3].....	18

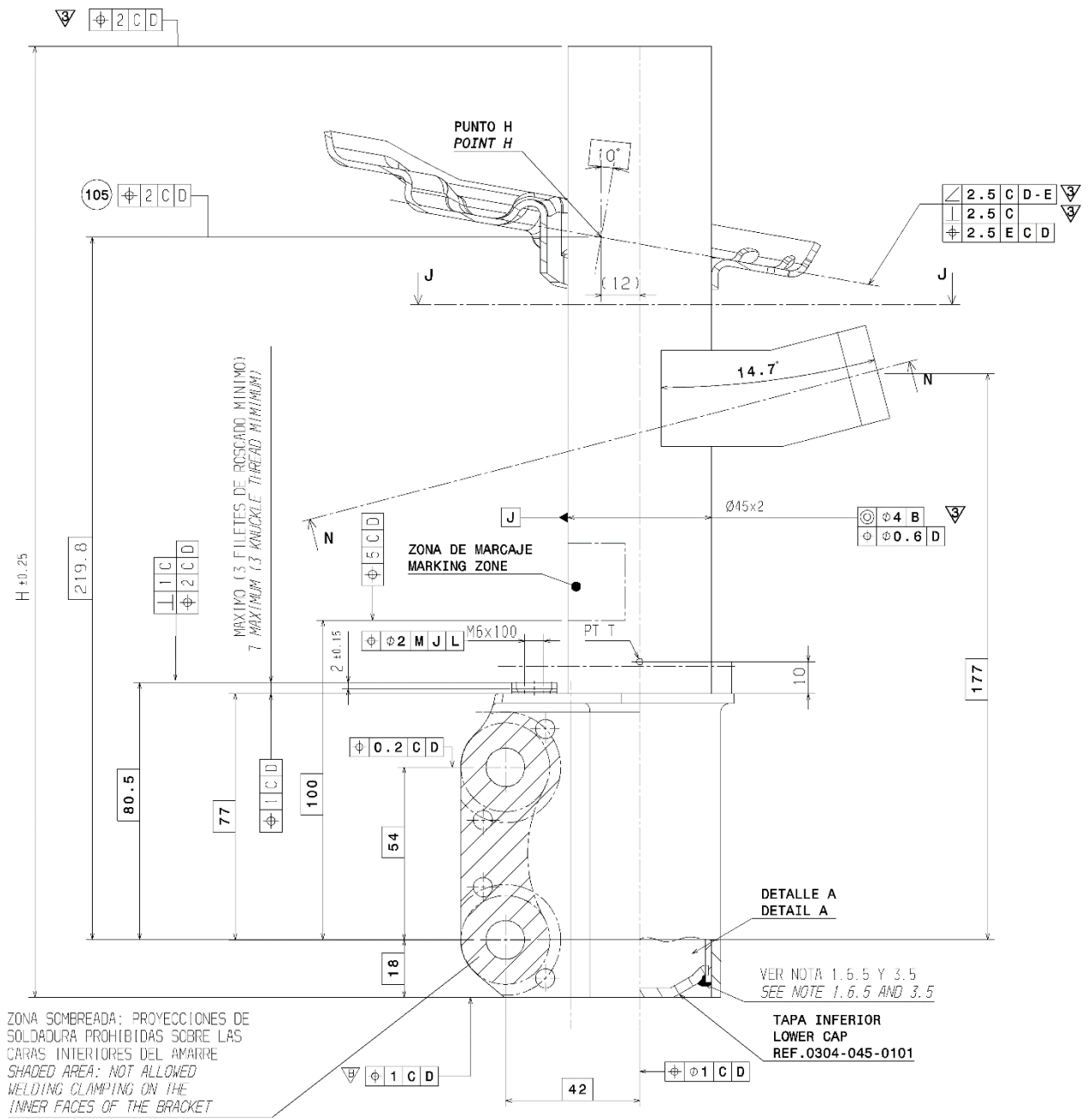
Obr. 33 Zobrazení tolerančního pole polohy čáry [3]	19
Obr. 34 Zobrazení tolerančního pole polohy čára – válec [3].....	20
Obr. 35 Zobrazení tolerančního pole polohy rovinné lochy nebo střední roviny [3].....	20
Obr. 36 Zobrazení tolerančního pole soustřednosti bodu [3].....	21
Obr. 37 Zobrazení tolerančního pole souososti osy [3]	21
Obr. 38 Zobrazení tolerančního pole souměrnosti [3]	22
Obr. 39 Zobrazení tolerančního pole kruhového házení obvodového [3].....	23
Obr. 40 Zobrazení tolerančního pole kruhového házení čelního [3].....	24
Obr. 41 Zobrazení tolerančního pole kruhového házení v libovolném směru [3]	24
Obr. 42 Zobrazení tolerančního pole kruhového házení v daném směru [3].....	25
Obr. 43 Zobrazení tolerančního pole celkového házení obvodového [3]	25
Obr. 44 Zobrazení tolerančního pole celkového házení čelního [3]	26
Obr. 45 Část razítka výkresu [8]	26
Obr. 46 Gaussovo rozdělení [6]	32
Obr. 47 Druhy souřadnicových měřících strojů [6]	33
Obr. 48 Mostový SMS MMZ E od firmy Zeiss [9]	34
Obr. 49 Výložníkový SMS DuraMax HTG od firmy Zeiss [9]	34
Obr. 50 Portálový SMS Accura 2000 od firmy Zeiss [9].....	35
Obr. 51 Stojanový SMS PRO od firmy Zeiss s horizontálním ramenem [9].....	35
Obr. 52 Romer Absolute Arm [12]	37

10 Seznam tabulek

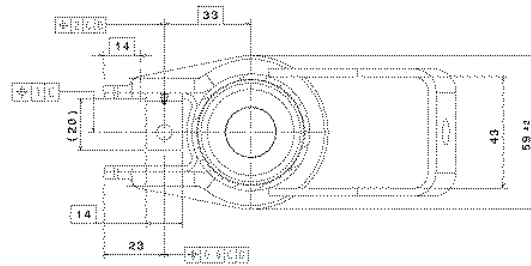
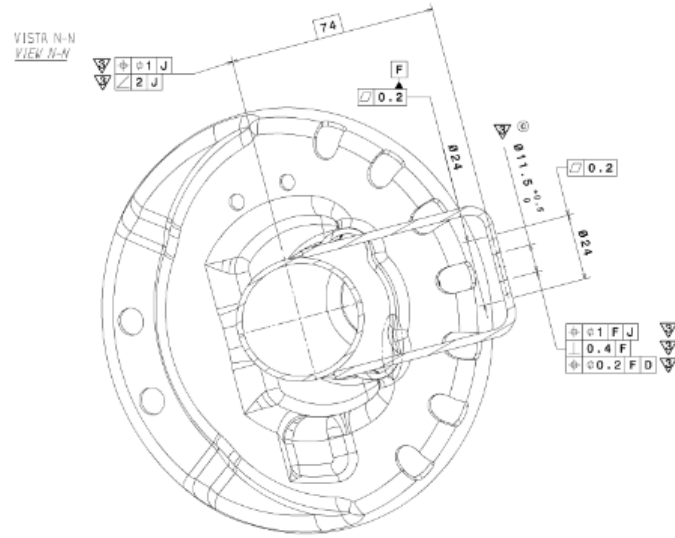
Tab. 1 Seznam kvalifikací tvaru prvku [3].....	4
Tab. 2 Mezní úchytky délkových rozměrů kromě zkosení hran [4]	27
Tab. 3 Mezní úchytky zkosení a zaoblení hran [4]	27
Tab. 4 mezní úchytky úhlových rozměrů [4]	27
Tab. 5 Všeobecné tolerance přímosti a rovinnosti [5].....	28
Tab. 6 Všeobecné tolerance kolmosti [5].....	29
Tab. 7 Všeobecné tolerance souměrnosti [5]	29
Tab. 8 Všeobecné tolerance kruhového házení [5]	29
Tab. 9 Podmínky závislosti [7]	30

11 Seznam příloh

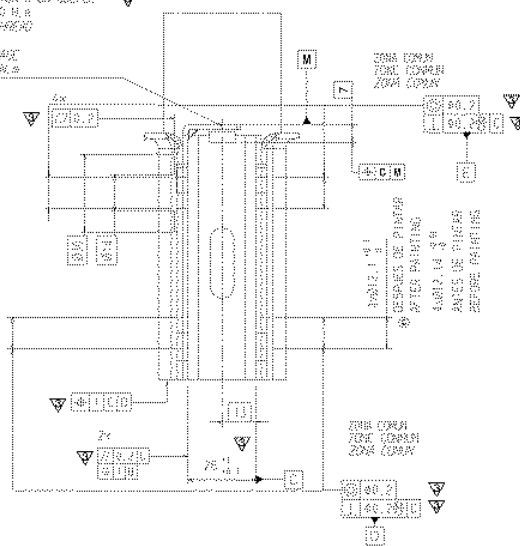
Příloha 1



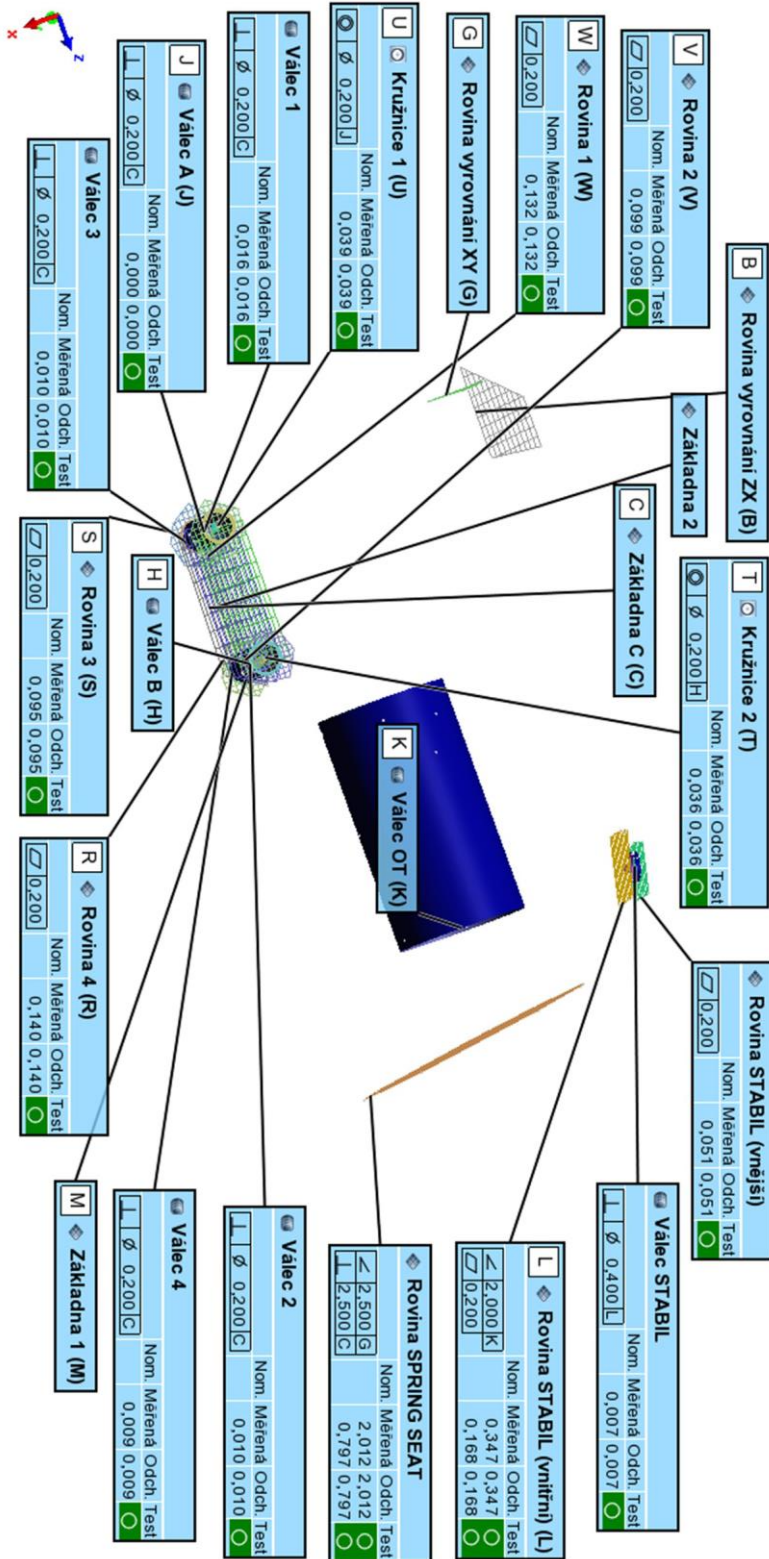
Příloha 1 – pokračování



ESTE AOSCADO DEBETA RESISTIR
SIN DEFORMACION EN PAR DE 10 N.m
DE TABALONIA DEVAR RESISTIR
SANS DEFORMACION A UN COUPLE
DE SEPARA DE 10 N.m
TRES PANGLES PARRO
NOSI S'INSTRANS
A PARTIR DEU CANALIC
A ROSNE DE 10 N.m



Příloha 2



Příloha 2 - pokračování



Tabulka prvků

Jednotky Millimetry
 Soutřadnicový systém Obecný
 Vyrovnání dat původní

Název	Vlastnost	Nom.	Měřená	Tol	Odch.	Test	Mimo tol.
◆ Rovina 1 (W)	0,200		0,132	0,200	0,132	Vyhovuje	
◆ Rovina 2 (V)	0,200		0,099	0,200	0,099	Vyhovuje	
◆ Rovina 3 (S)	0,200		0,095	0,200	0,095	Vyhovuje	
◆ Rovina 4 (R)	0,200		0,140	0,200	0,140	Vyhovuje	
○ Kružnice 1 (U)	Ø 0,200		0,039	0,200	0,039	Vyhovuje	
○ Kružnice 2 (T)	Ø 0,200		0,036	0,200	0,036	Vyhovuje	
○ Kružnice 3 (P)	Ø 0,200		0,020	0,200	0,020	Vyhovuje	
○ Kružnice 4 (N)	Ø 0,200		0,044	0,200	0,044	Vyhovuje	
● Válec A (U)	Ø 0,200		0,000	0,200	0,000	Vyhovuje	
● Válec 1	Ø 0,200		0,016	0,200	0,016	Vyhovuje	
● Válec 2	Ø 0,200		0,010	0,200	0,010	Vyhovuje	
● Válec 3	Ø 0,200		0,010	0,200	0,010	Vyhovuje	
● Válec 4	Ø 0,200		0,009	0,200	0,009	Vyhovuje	
◆ Rovina STABIL (vnější) (F)	0,200		0,051	0,200	0,051	Vyhovuje	
● Válec STABIL	Ø 0,400		0,007	0,400	0,007	Vyhovuje	
◆ Rovina STABIL (vnitřní) (L)	2,000		0,347	2,000	0,347	Vyhovuje	
	0,200		0,168	0,200	0,168	Vyhovuje	
◆ Rovina SPRING SEAT	2,500		2,012	2,500	2,012	Vyhovuje	
	2,500		0,797	2,500	0,797	Vyhovuje	

Organization:
 Operator:
 E-mail:

Part name:
 Part number:
 Piece: díl 1

22.6.2017

2/2