



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

**Možnosti aplikace tolerančních zá-
kladen v automotive**

**Application Possibilities of Tolerance
Bases in Automotive**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2019

Kamil TUREČEK

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. Karel PETR, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Tureček** Jméno: **Kamil** Osobní číslo: **466466**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Možnosti aplikace tolerančních základů v automotive

Název bakalářské práce anglicky:

Application Possibilities of Tolerance Bases in Automotive

Pokyny pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je rozbor možností aplikace tolerančních základů v automotive. Student vypracuje analýzu tolerování dle ISO GPS systému (analýza norem ISO 1101:2017 a ISO 5459:2011) a dle alternativní metody pomocí RPS bodů (VW aplikace). Dále provede aplikaci obou metod na vybraný model dílu automobilu, provede porovnání (zhodnocení) obou metod. Grafický výstup - výrobní výkres vybraného dílu dle ISO GPS systému (použití základů) a výkres vybraného dílu dle VW norem (RPS body).

Seznam doporučené literatury:

- [1] Norma ISO 1101:2017 - GPS - Geometrické tolerování - Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení.
- [2] Norma ISO 5459:2011 - GPS - Geometrické tolerování - Základny a soustavy základů.
- [3] FREDERICK E. GIESECKE. Technical Drawing with Engineering Graphics. 2014. Pearson New International Edition. ISBN 13: 9781292026183.
- [4] Joseph E. Shigley: Konstruování strojních součástí. 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:


Ing. Karel Petr, Ph.D., ústav konstruování a částí strojů FS


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

Datum zadání bakalářské práce: **05.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.06.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **12.12.2019**


Ing. Karel Petr, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


Ing. František Lopot, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

30.4.2019
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Možnosti aplikace tolerančních základů jsem vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu literatury.

V Praze dne:

.....

Kamil Tureček

Poděkování

Tímto odstavcem bych chtěl vyjádřit velké poděkování vedoucímu bakalářské práce Ing. Karlu Petrovi Ph,D. za odbornou pomoc, trpělivost a ochotu při psaní bakalářské práce. Velké poděkování náleží také mému kolegovi a příteli Ing. Tomáši Bernátovi za předání svých znalostí a za jeho nesmírnou podporu, odborné rady a pomoc při psaní závěrečné práce. Na závěr bych rád poděkoval své přítelkyni Andree za morální podporu při psaní bakalářské práce.

Anotační list

Jméno autora:	Kamil TUREČEK
Název BP:	Možnosti aplikace tolerančních základů v automotive
Anglický název BP:	Application Possibilities of Tolerance Bases in Automotive
Rok:	2019
Studijní program:	B2342 Teoretický základ strojního inženýrství
Obor studia:	Bezoborový
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí BP:	Ing. Karel Petr, Ph.D.
Bibliografické údaje:	počet stran 49 počet obrázků 50 počet tabulek 4 počet příloh 2
Klíčová slova:	ISO 1101, ISO 5459, ISO GPS, základny, geometrické tolerance, automotive, RPS
Keywords:	ISO 1101, ISO 5459, ISO GPS, datums, geometrical tolerances
Abstrakt:	Předmětem této bakalářské práce je analýza možností tolerování v automotive. Práce se zaměřuje na porovnání metod ustavení a tolerování dle norem ISO 5459:2011, respektive ISO 1101:2017 a systému RPS dle normy VW 01055:2017. Dílčím cílem je praktická aplikace obou metod na zvolenou součást automobilu. Výsledkem je hodnocení a shrnutí výhod a nevýhod, doplněné komentáři z praxe. Hlavním přínosem práce je předání informací z technického vývoje automobilů, především z hlediska alternativní metody ustavení a tolerování součástí.
Abstract:	The main subject of this thesis is the analysis of application possibilities of tolerance bases in automotive. Thesis focuses mainly on comparison of ISO 5459:2011, respectively ISO 1101:2017 and Reference Point System defined by VW 01055:2017. Next goal is to apply both methods on chosen automotive part. Result of the thesis is the handover of information from technical automotive development, especially in terms of alternative tolerancing methods.

Obsah

1	ÚVOD	1
2	SYSTÉM ISO GPS	2
2.1	ZÁKLADNÍ POJMY	2
2.1.1	<i>Indikátor tolerance</i>	2
2.1.2	<i>Základny</i>	4
2.1.3	<i>Doplňkové značky</i>	7
2.2	DRUHY GEOMETRICKÝCH TOLERANCÍ.....	7
2.2.1	<i>Tolerance přímosti</i>	8
2.2.2	<i>Tolerance rovinnosti</i>	9
2.2.3	<i>Tolerance kruhovitosti</i>	10
2.2.4	<i>Tolerance válcovitosti</i>	11
2.2.5	<i>Tolerance profilu libovolné čáry</i>	12
2.2.6	<i>Tolerance profilu libovolné plochy</i>	13
2.2.7	<i>Tolerance rovnoběžnosti</i>	14
2.2.8	<i>Tolerance kolmosti</i>	16
2.2.9	<i>Tolerance sklonu</i>	17
2.2.10	<i>Tolerance polohy</i>	18
2.2.11	<i>Tolerance soustřednosti/souososti</i>	21
2.2.12	<i>Tolerance souměrnosti</i>	23
2.2.13	<i>Tolerance kruhového házení</i>	23
2.2.14	<i>Tolerance celkového házení</i>	25
3	RPS (REFERENCE POINT SYSTEM)	27
3.1	GLOBÁLNÍ SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM AUTOMOBILU	27
3.2	USTAVOVACÍ BODY A PLOCHY	28
3.2.1	<i>Referenční RPS body</i>	28
3.2.2	<i>Referenční RB body obrábění</i>	30
3.2.3	<i>Lokální polohovací systémy (LPS) pro funkční oblasti</i>	30
3.3	PRAVIDLO 3-2-1.....	30
3.4	RPS TABULKA	31
4	POROVNÁNÍ RPS A TOLERANČNÍCH ZÁKLADEN DLE ISO	34
4.1	POSTUP APLIKACE OBOU METOD V PROGRAMU CATIA	34
4.1.1	<i>Aplikace RPS bodů</i>	35
4.1.2	<i>Aplikace ISO základen</i>	37
4.2	HODNOCENÍ PROCESU APLIKACE OBOU METOD	39
4.3	POROVNÁNÍ ZOBRAZENÍ OBOU METOD.....	40

4.4	VŠEOBECNÉ POROVNÁNÍ	41
5	ZÁVĚR	44
6	CITOVANÁ LITERATURA	46
7	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	47
8	SEZNAM TABULEK.....	49
9	SEZNAM PŘÍLOH.....	50

1 Úvod

Jelikož je nutné, aby výrobek splňoval požadované funkční vlastnosti a kvalitativní nároky, je stanovení správného ustavení a geometrických tolerancí nezbytnou součástí konstrukčního procesu. Základní a mezinárodně používanou normou je v současnosti ISO 1101:2017 (český překlad ČSN EN ISO 1101:2017). Norma obsahuje definice tolerancí tvaru, orientace, umístění a házení a pravidla pro předepisování těchto tolerancí ve výkresové dokumentaci a na 3D modelech. Související norma ISO 5459:2011 specifikuje terminologii, pravidla a metodiku pro pochopení základů a systémů základů.

V automotive je při návrhu a následné kontrole využíváno více norem. Pro motorová a převodová ústrojí jsou většinou používány základny a tolerance dle ISO GPS. Pro ustavení a toleranci rozměrnějších a méně tuhých součástí, jako například části karoserie, využívají výrobci automobilů svá vlastní řešení.

Jedním z těchto řešení je systém RPS (VW 01055:2017), který je používán v rámci koncernu VW. Cílem procesu stanovování RPS je definice správných ustavovacích míst pro jednotlivé díly a sestavy a eliminace nesprávné rozměrovosti dílů a sestav. RPS systém je blíže specifikován v následujících kapitolách.

Další alternativa je využívána u amerických výrobců automobilů. Jedná se o normu ASME Y14.5:2018 (obdoba základů dle ISO 5459:2011), která je rozšířena o další specifické prvky.

Úkolem práce je představení a následné porovnání systému ustavování dílů dle koncernové normy VW 01055 – Reference Point System (RPS) a mezinárodního systému ISO GPS a to především výše zmíněných norem ČSN EN ISO 1101:2017 a ČSN EN ISO 5459:2011.

2 Systém ISO GPS

ISO GPS (Geometrical Product Specifications) je mezinárodní standard pro tolerování výrobků. Základní definice a struktura ISO GPS jsou obsaženy v následujících základních normách:

- ČSN EN ISO 8015:2011 – Základní pojmy, zásady a pravidla tolerování
- ČSN EN ISO 14638:2015 – Maticový model ISO GPS

Hlavní všeobecné normy ISO GPS již detailně předepisují a definují postup a pravidla zapisování geometrických požadavků ve výkresové dokumentaci a na 3D modelech. Do kategorie všeobecných norem, které specifikují geometrické tolerance, lze zařadit následující: [1]

- ČSN EN ISO 1101:2017 – Geometrické tolerance – tolerance tvaru orientace, umístění a házení a pravidla pro předepisování těchto tolerancí
- ČSN EN ISO 5459:2011 – Geometrické tolerance – Základny a soustavy základen,
- ČSN EN ISO 5458:2018 – Geometrické tolerance – Tolerování polohy,
- ČSN EN ISO 1660:2017 – Geometrické tolerance – Tolerování profilu,
- ČSN EN ISO 3040:2016 – Kótování a tolerování – Kužele

2.1 Základní pojmy

V následujících kapitolách jsou uvedeny základní pojmy užívané při popisu geometrických tolerancí.

2.1.1 Indikátor tolerance

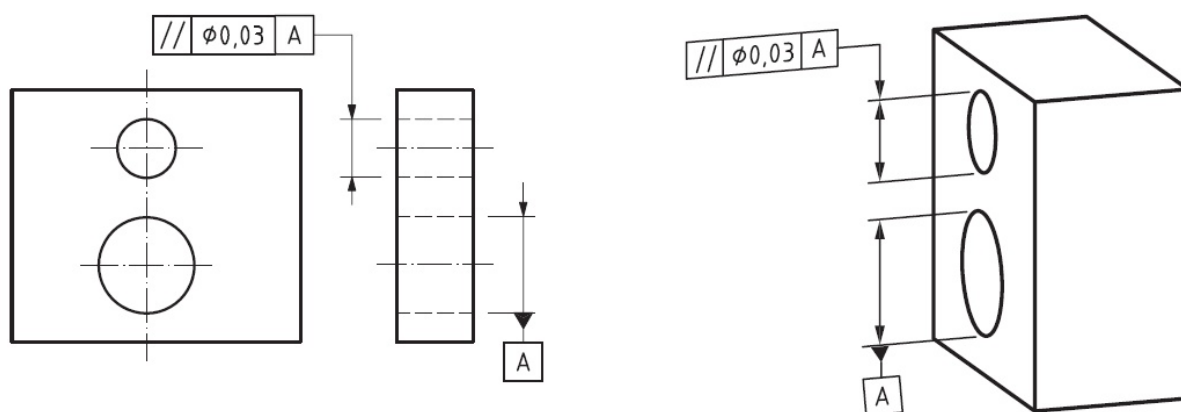
Tolerance se dle normy na výkres zapisují pomocí tzv. indikátorů tolerance, které mohou mít od 2 do 5 polí (obrázek 1). Jednotlivá pole mají následující funkce. V prvním poli je vždy definována značka tolerance (více v následujících kapitolách). Na druhém místě je uvedena hodnota

tolerance a tvar tolerančního pole. Poslední 3 pozice jsou určeny pro značení jednotlivých základen, ke kterým se tolerance vztahuje. [2] [3]



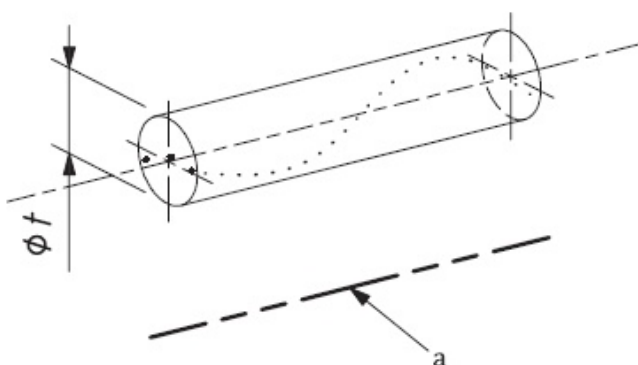
Obrázek 1: Indikátor tolerance [2]

Rozměr tolerance může být doplněn symbolem průměru „Ø“, který značí válcovitý, resp. kruhový tvar tolerančního pole (viz obrázek 1). V tomto případě se musí geometrie daného tolerovaného elementu nacházet v oblasti válce, případně kruhu. Ukázka je na obrázku 2. [4] [3]



Obrázek 2: Válcové toleranční pole 2D (vlevo) 3D (vpravo) [2]

Element (díra) z obrázku 2 musí ležet ve válcovém tolerančním poli o průměru 0,03 mm, jehož osa je rovnoběžná s osou spodní díry (základna A). Zobrazení tolerančního pole je znázorněno na obrázku 3.



Obrázek 3: Zobrazení tolerančního pole [2]

2.1.2 Základny

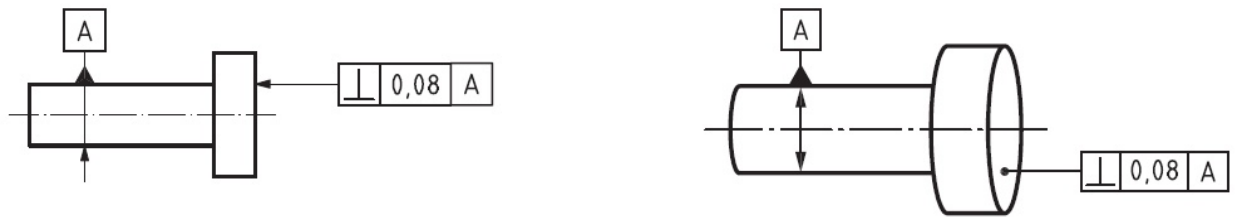
Geometrické tolerance se vždy vztahují na určitý tzv. „geometrický prvek“. Prvkem může být bod, přímka, případně plocha. Velice často se tyto geometrické prvky vztahují k tzv. „základně“. Základna definuje způsob vyhodnocování tolerance. Například pokud na výkrese základna navazuje na kótovací čáru od kruhového tvaru součásti, vztažným prvkem je osa, nebo středový bod součásti. Naopak, pokud je základna umístěna přímo na plochu součásti, základnou je plocha například v podobě roviny. [4] [5]

Na některé typy geometrických tolerancí se základna nemusí předepisovat (seznam je uveden v dalších kapitolách). U některých prvků může být uvedena soustava základen, která se skládá ze dvou až tří dílčích základen. První – primární základna je přímo vymezena extrahovaným integrálním prvkem součásti a není omezena orientací od ostatních základen. [4]

Druhá – sekundární základna se používá v případě, že je potřeba omezit více stupňů volnosti, než které jsou omezeny základnou primární. Sekundární základna je vždy omezena orientací od základny primární. [4]

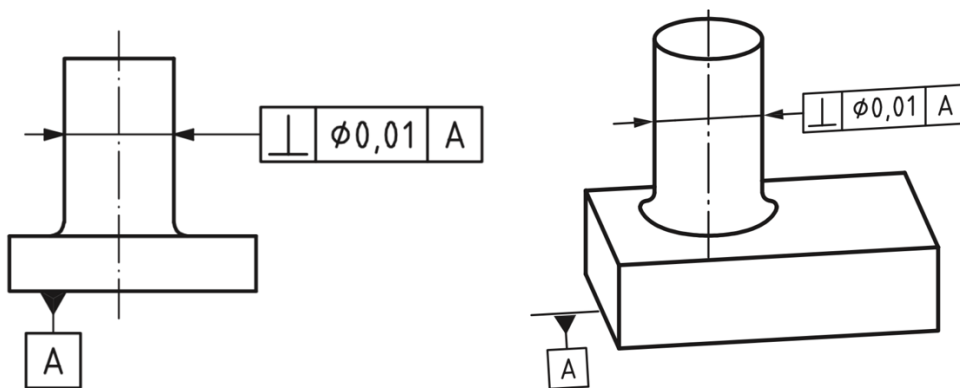
Třetí – terciární základna je použita, stejně jako v případě předchozím, pokud je nutné omezit více stupňů volnosti součásti, než je omezeno základnami primárními a sekundárními. Terciární základna je omezena orientací primární základny, a dále také orientací od sekundární základny. [4] [6]

Sekundární a terciární základna by měla být použita pouze v případě, že omezuje další stupně volnosti než primární, resp. sekundární základna. Názorná ukázka značení základny je na obrázku 4. Základna zde navazuje na kótu, základnou je tedy osa válce. [3] [5]



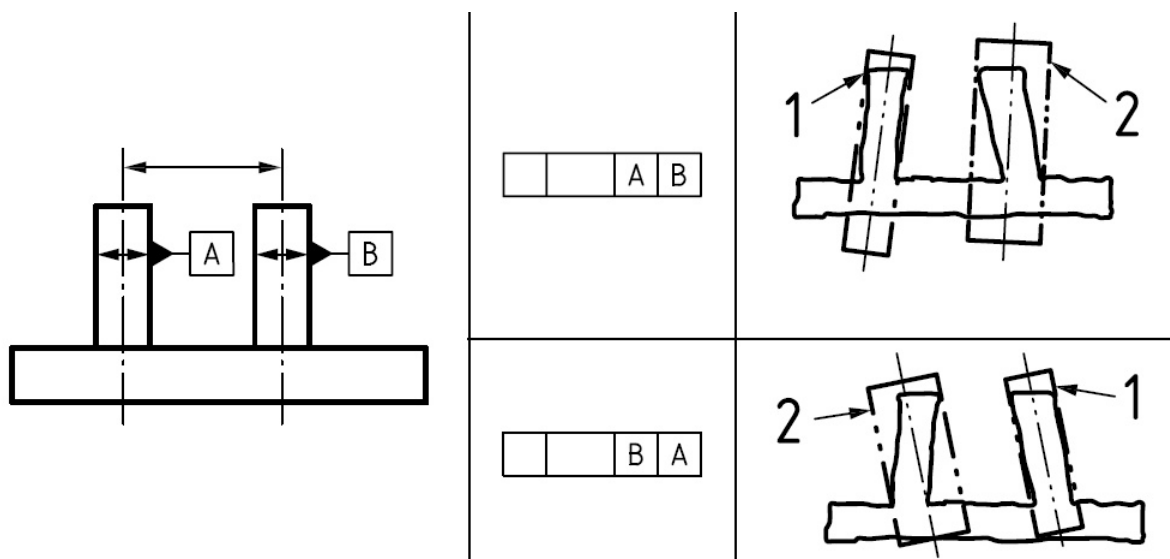
Obrázek 4: Příklad aplikace základny ve 2D (vlevo) a 3D (vpravo) [2]

Na následujícím obrázku (obrázek 5) je ukázka základny, která navazuje přímo na rovinnou plochu. V tomto případě je základnou rovina.



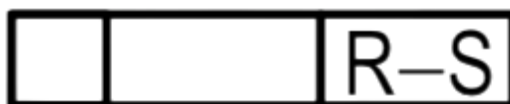
Obrázek 5: Příklad aplikace základny ve 2D (vlevo) a 3D (vpravo) [2]

Na obrázku 6 je uveden příklad soustavy základen. Na prvek jsou aplikovány dvě základny – primární a sekundární. Primární základna (na obrázku značena číslem 1) je asociována přímo z integrální osy válce. Sekundární základna (na obrázku značena číslem 2) je omezena orientací od primární základny (je rovnoběžná s primární základnou). Pořadí základen v indikátoru tolerance je důležité. Prohozením pořadí je možné dosáhnout zcela odlišných výsledků (viz obrázek 6).



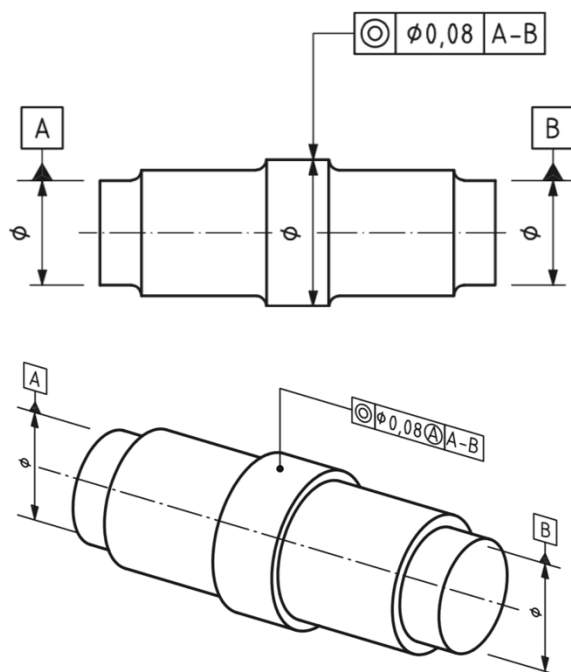
Obrázek 6: Příklad soustavy základen [4]

Pro některé prvky lze také využít tzv. společnou základnu. Společná základna je ustavená ze dvou nebo více společně určených prvků. Tato základna se zapisuje do společného políčka tolerančního pole a písmena základen jsou oddělena pomlčkou (viz obrázek 7). [4] [2]



Obrázek 7: Společná základna [2]

Na následujícím obrázku (obrázek 8) jsou dvě základny A a B. V indikátoru tolerance je předepsána společná základna A-B. V tomto případě je tedy základnou osa, která je společná pro válec, na který je vztažena základna A, a válec, na který navazuje základna B.



Obrázek 8: Společná základna ve 2D (vlevo) a ve 3D (vpravo) [2]

2.1.3 Doplnkové značky

Kromě zmíněných atributů lze k tolerancím zapisovat speciální – doplňkové značky. Tyto značky ještě blíže specifikují popisovanou geometrickou toleranci. Jsou zapisovány na konec druhého pole indikátoru tolerance. Doplnkové značky jsou uvedeny v tabulce 1. [2]

Tabulka 1: Příklady doplňkových znaků

Kombinované pole	CZ	Požadavek maxima materiálu	Ⓜ
Velký průměr	MD	Požadavek minima materiálu	Ⓛ
Malý průměr	LD	Čárový prvek	LE
Posunutá toleranční pole	Ⓟ	Průměr roztečné kružnice	PD

2.2 Druhy geometrických tolerancí

Geometrické tolerance se dle normy dělí na tolerance tvaru, orientace, umístění a tolerance házení. Geometrické tolerance, včetně nutnosti předpisu základny, jsou souhrnně uvedeny v tabulce 2 a následně specifikovány v následujících podkapitolách.

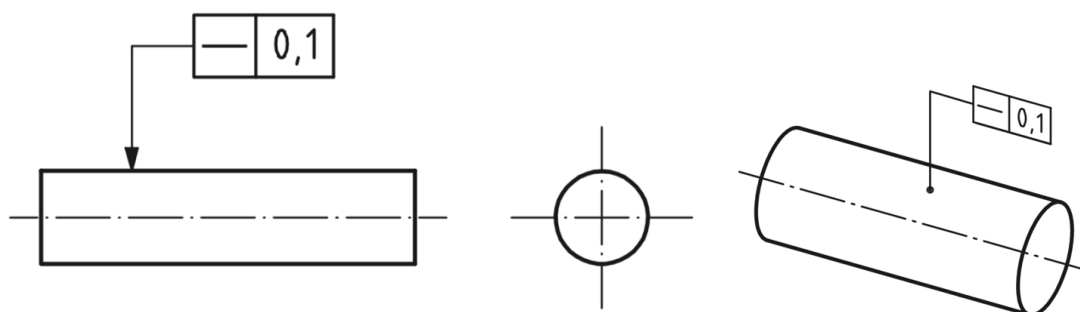
Tabulka 2: Druhy geometrických tolerancí

Tolerance	Charakteristika	Značka	Potřeba základny
Tvaru	Přímost	—	ne
	Rovinnost	▭	ne
	Kruhovitost	○	ne
	Válcovitost	∅	ne
	Profil libovolné čáry	⤿ ^a	ne
	Profil libovolné plochy	⤿ ^a	ne
Orientace	Rovnoběžnost	//	ano
	Kolmost	⊥	ano
	Sklon	∠	ano
	Profil libovolné čáry	⤿ ^a	ano
	Profil libovolné plochy	⤿ ^a	ano
Umístění	Umístění	⊕	ano/ne
	Soustřednosti	⊙	ano
	Souososti	⊙	ano
	Souměrnosti	≡	ano
	Profil libovolné čáry	⤿ ^a	ano
	Profil libovolné plochy	⤿ ^a	ano
Házení	Kruhové házení	↗	ano
	Celkové házení	↗↗	ano

2.2.1 Tolerance přímosti

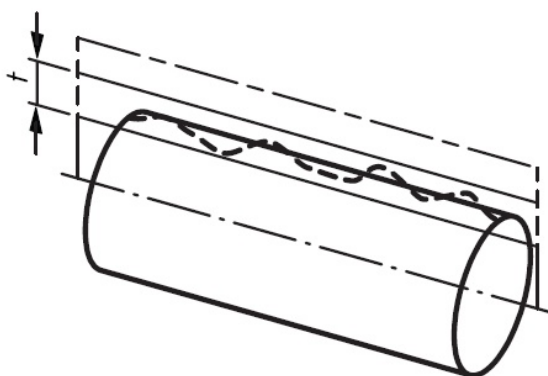
V případě tolerance přímosti je toleranční pole vymezeno dvěma rovnoběžnými přímkami, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu velikosti tolerance. Pokud je hodnota tolerance doplněna symbolem průměru, tolerančním polem je válec. Tolerance přímosti je znázorněna na obrázku 9.

[2] [5]



Obrázek 9: Příklad tolerance přímosti ve 2D (vlevo) a ve 3D (vpravo) [2]

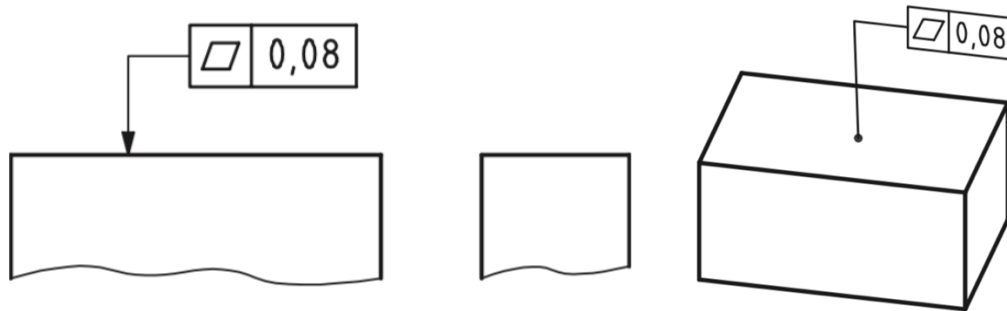
Na obrázku je zobrazen příklad geometrické tolerance přímosti navazující na válcovou plochu. U tohoto prvku musí všechny povrchové přímky (rovnoběžné s osou prvku) ležet v tolerančním poli ohraničeném rovnoběžnými přímkami vzdálenými o 0,1 mm (viz obrázek 10).



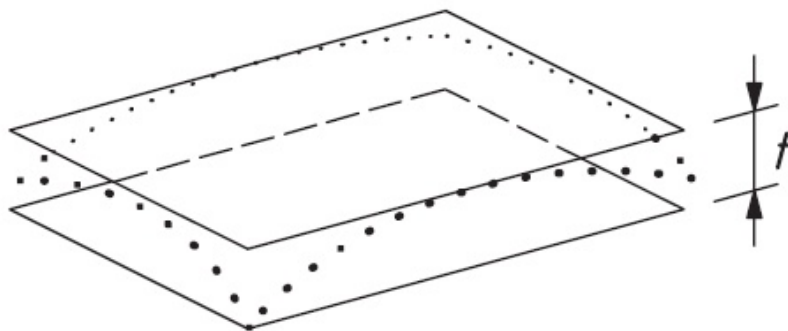
Obrázek 10: Zobrazení tolerančního pole [2]

2.2.2 Tolerance rovinnosti

Tolerance rovinnosti zajišťuje požadovanou přesnost rovinných ploch prvku. Na obrázku 11 je tolerance umístěna na horní plochu kváдру. Všechny body na povrchu horní plochy musí tudíž ležet v rozmezí dvou rovnoběžných rovin, které jsou od sebe vzdáleny o $t = 0,08$ mm (viz obrázek 12). [2]



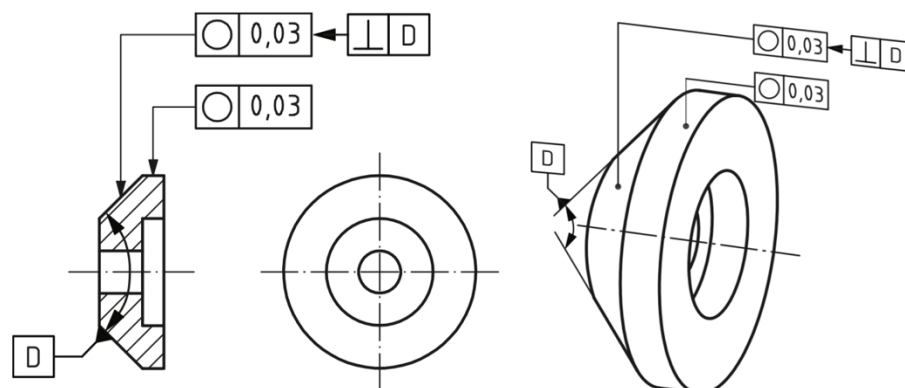
Obrázek 11: Příklad tolerance rovinnosti ve 2D (vlevo) a ve 3D (vpravo) [2]



Obrázek 12: Zobrazení tolerančního pole [2]

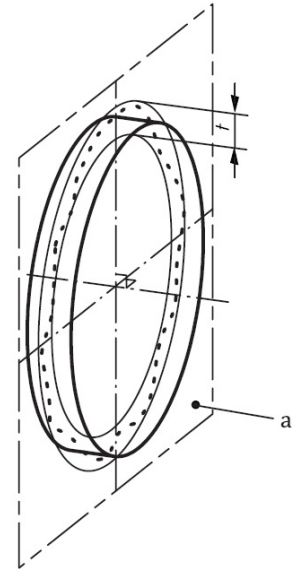
2.2.3 Tolerance kruhovitosti

Při toleranci kruhovitosti je tolerančním polem vždy mezikružší o velikosti hodnoty tolerance. Tolerance kruhovitosti nesmí být předepisována proti kótě a nelze u ní předepsat válcové toleranční pole. Příklad je uveden na obrázku 13. [2] [5]



Obrázek 13: Příklad tolerance kruhovitosti ve 2D (vlevo) a ve 3D (vpravo) [2]

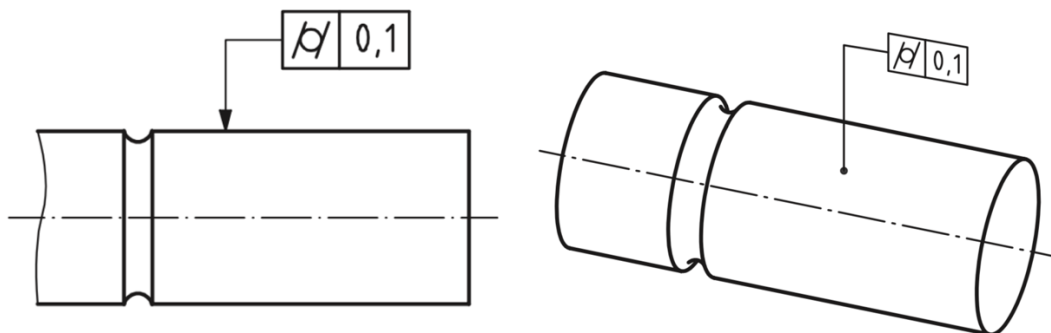
Na obrázku 13 je zobrazena realizace tolerance kruhovitosti na kuželovitém prvku. V případě, že se geometrie prvku láme (kužel přechází ve válec), je samozřejmě nutné předepsat toleranci pro kuželovitou i válcovou plochu. Skutečná integrální plocha objektu z obrázku 13 musí ležet v tolerančním poli tvaru mezikruží o rozměru $t = 0,03$ mm. Tuto podmínku musí objekt splňovat v celé délce a ve všech řezech kolmých na osu objektu. Reprezentace tolerančního pole je zobrazena na obrázku 14. Čárkovanou čarou je znázorněn skutečný řez povrchu součásti. [2] [5]



Obrázek 14: Zobrazení tolerančního pole [2]

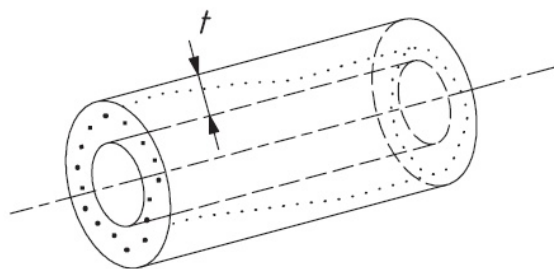
2.2.4 Tolerance válcovitosti

Toleranční pole válcovitosti je vymezeno dvěma sousými válci. Rozdíl poloměru obalového a vnitřního válce je roven tolerančnímu rozměru t . Tolerance nesmí být předepisována proti kótě. Tolerovaným prvkem může být pouze plocha pláště válce. Příklad je uveden na obrázku 15. [2] [5]



Obrázek 15: Příklad tolerance válcovitosti ve 2D (vlevo) a ve 3D (vpravo) [2]

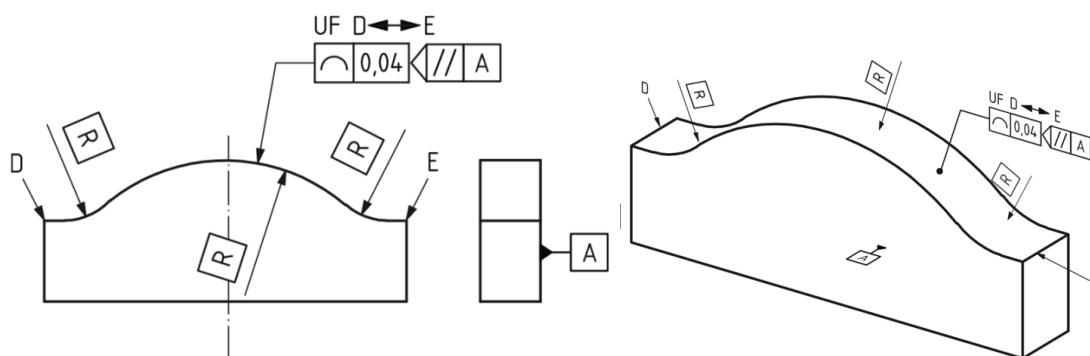
Extrahovaný povrch válcové plochy prvku z obrázku 15 musí ležet uvnitř tolerančního pole vymezeného dvěma sousými válci o rozdílu poloměrů $t = 0,1$ mm. Reprezentace je znázorněna na obrázku 16. Tečky představují zjištěné body na povrchu součásti.



Obrázek 16: Zobrazení tolerančního pole [2]

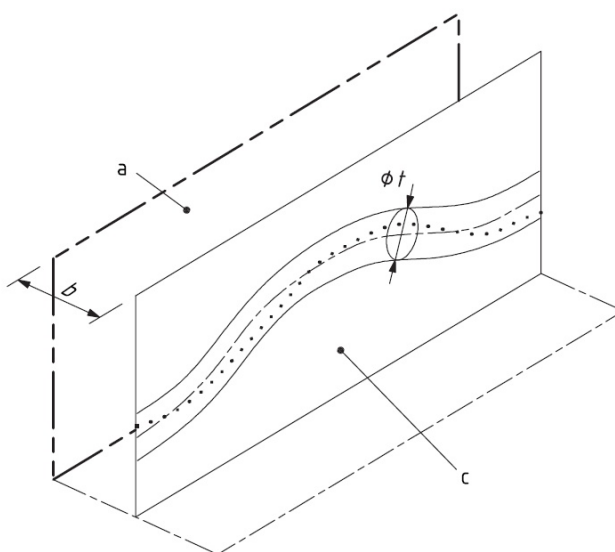
2.2.5 Tolerance profilu libovolné čáry

Toleranční pole profilu libovolné čáry je vymezeno dvěma obalovými čarami od kružnic se středy umístěnými na geometricky přesné čáře. Kružnice mají průměr odpovídající rozměru hodnoty tolerance. Skutečný povrch součásti musí spadat do tohoto tolerančního pole v libovolném řezu po šířce. Toleranci lze také předepisovat včetně základny. V takovém případě se jedná o toleranci orientace a umístění. Příklad je uveden na obrázku 17. [1] [2] [5]



Obrázek 17: Příklad tolerance profilu libovolné čáry ve 2D (vlevo) a ve 3D (vpravo) [2]

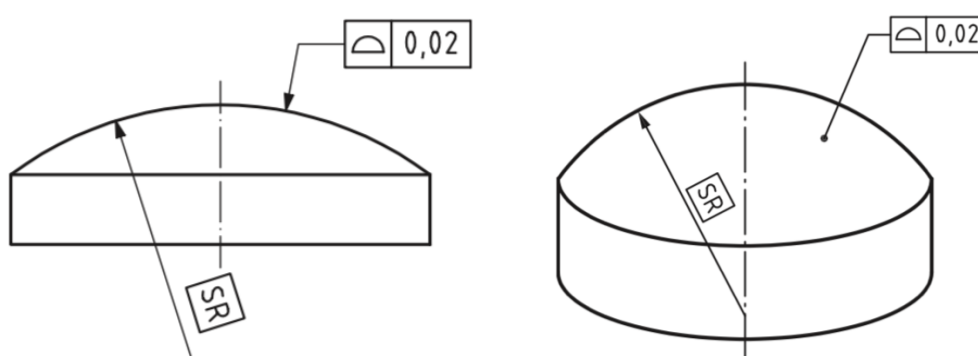
Na příkladu z obrázku 17 musí horní plocha v libovolném řezu, rovnoběžném se základnou A, ležet uvnitř tolerančního pole vymezeného ekvidistantními obalovými křivkami od kružnic o průměru $t = 0,04$ mm. Středů kružnic leží na geometricky přesné čáře (viz obrázek 18). [2] [5]



Obrázek 18: Zobrazení tolerančního pole [2]

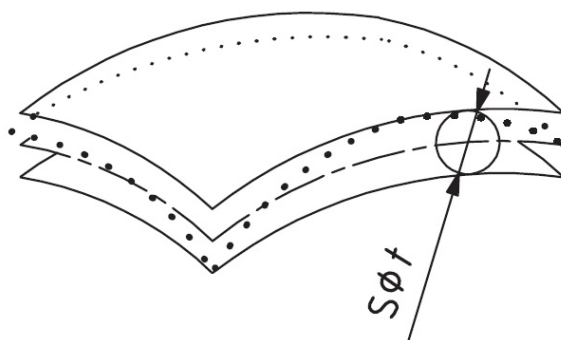
2.2.6 Tolerance profilu libovolné plochy

Při toleranci profilu libovolné plochy je toleranční pole tvořeno dvěma obalovými ekvidistantními plochami koulí o průměru t . Středů koulí leží na teoreticky přesné ploše. Jako v předchozím případě, tolerance lze předepisovat včetně základen. Rozměry, které definují tolerovanou geometrii, musí mít teoreticky přesný rozměr (TED). Příklad tolerance profilu libovolné plochy je na obrázku 19. [1] [2] [5]



Obrázek 19: Příklad tolerance profilu libovolné plochy ve 2D (vlevo) a ve 3D (vpravo) [2]

Extrahovaný povrch horní kulové plochy součásti z příkladu na obrázku 19 musí ležet v tolerančním poli vymezeném ekvidistantními plochami vzdálenými o 0,02 mm (viz obrázek 20).



Obrázek 20: Zobrazení tolerančního pole [2]

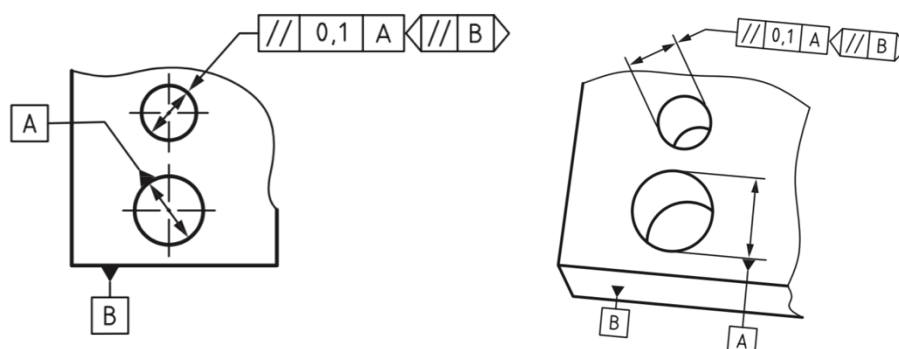
2.2.7 Tolerance rovnoběžnosti

Tolerance rovnoběžnosti je prvním druhem tolerancí směru. Existují čtyři kombinace tolerancí rovnoběžnosti v závislosti na typech základny a tolerovaných prvcích. Kombinace jsou následující: [1] [2]

- Přímka s přímkou,
- přímka s rovinou,
- rovina s přímkou,
- rovina s rovinou.

Přímka s přímkou

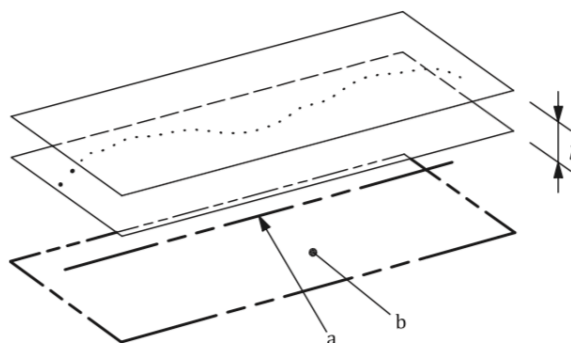
V případě, že tolerovaným prvkem a základnou je přímka, toleranční pole bude vymezeno dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdáleny o velikost tolerančního pole „t“. Příklad je uveden na obrázku 21.



Obrázek 21: Příklad tolerance rovnoběžnosti ve 2D (vlevo) a ve 3D (vpravo) [2]

Na příkladu z obrázku 21 musí osa horní díry ležet v tolerančním poli vymezeném dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdáleny o

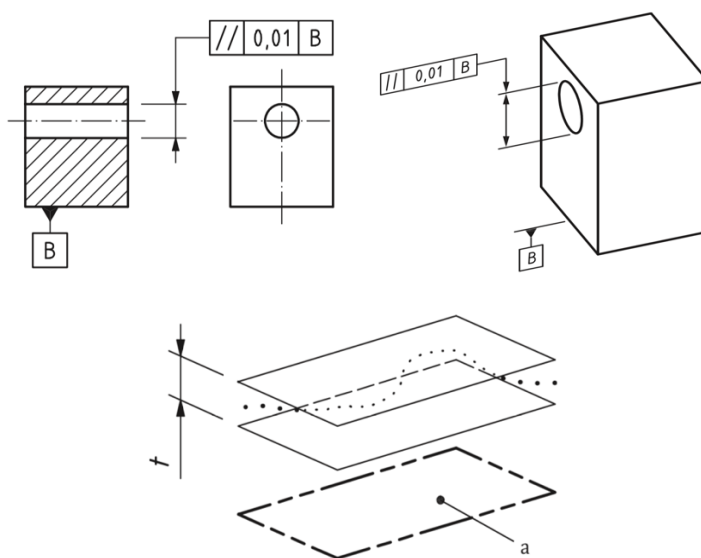
rozměr tolerance $t = 0,1$ mm. Roviny jsou rovnoběžné se základnou A, a zároveň jsou orientované ve směru roviny základny B. Toleranční pole je zobrazeno na obrázku 22.



Obrázek 22: Zobrazení tolerančního pole (přímka s přímkou) [2]

Přímka s rovinou

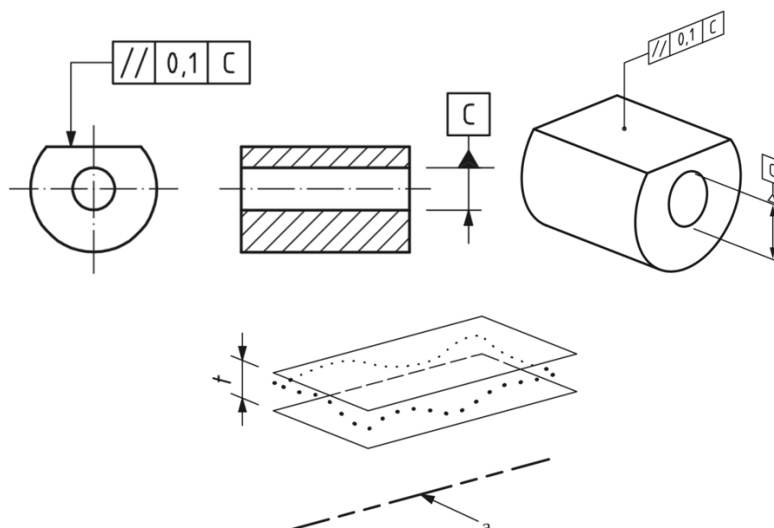
Pokud je tolerovaným prvkem přímka a základnou je rovina, toleranční pole je vymezeno opět dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu tolerance „t“. Příklad je uveden na obrázku 23. [1]
[2]



Obrázek 23: Příklad tolerance rovnoběžnosti (přímka s rovinou) [2]

Rovina s přímkou

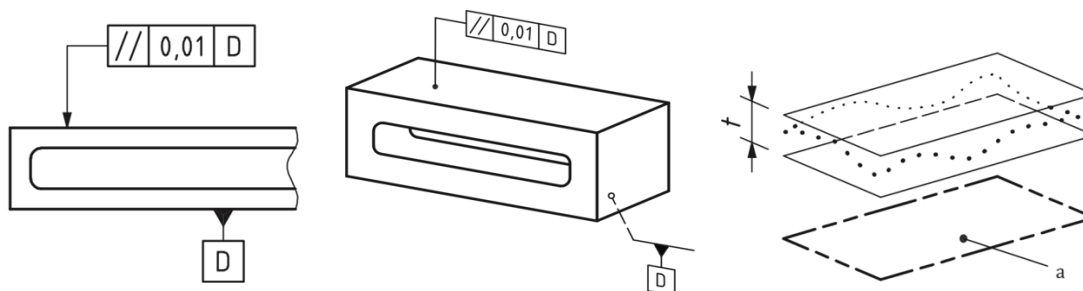
I v tomto případě je toleranční pole vymezeno dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdáleny o rozměr tolerance „t“. Příklad tolerance je uveden na obrázku 24. [2]



Obrázek 24: Tolerance rovnoběžnosti (rovina s přímkou) [2]

Rovina s rovinou

Posledním případem je tolerance, kde je rovina tolerovaným prvkem a základnou. Toleranční pole je opět vymezeno dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými o rozměr tolerančního pole „t“. Příklad tohoto typu tolerance rovnoběžnosti je uveden na obrázku 25. [2]

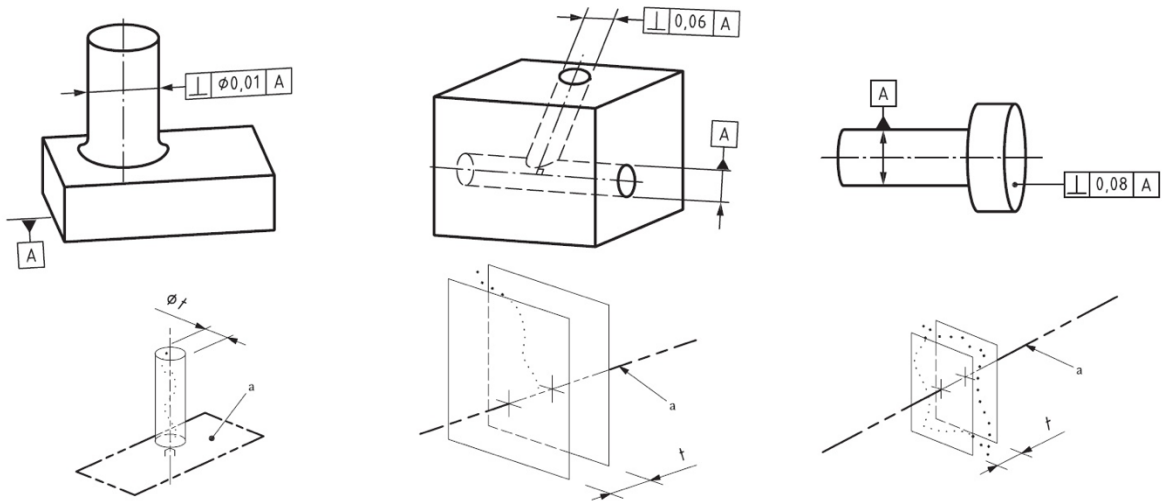


Obrázek 25: Tolerance rovnoběžnosti (rovina s rovinou) [2]

2.2.8 Tolerance kolmosti

Jako v předchozím případě, i zde existuje více kombinací předepisování tolerance v závislosti na druhu tolerovaného prvku a druhu základny. Tolerovaným prvkem může být čára, osa a plocha. Základnou může být

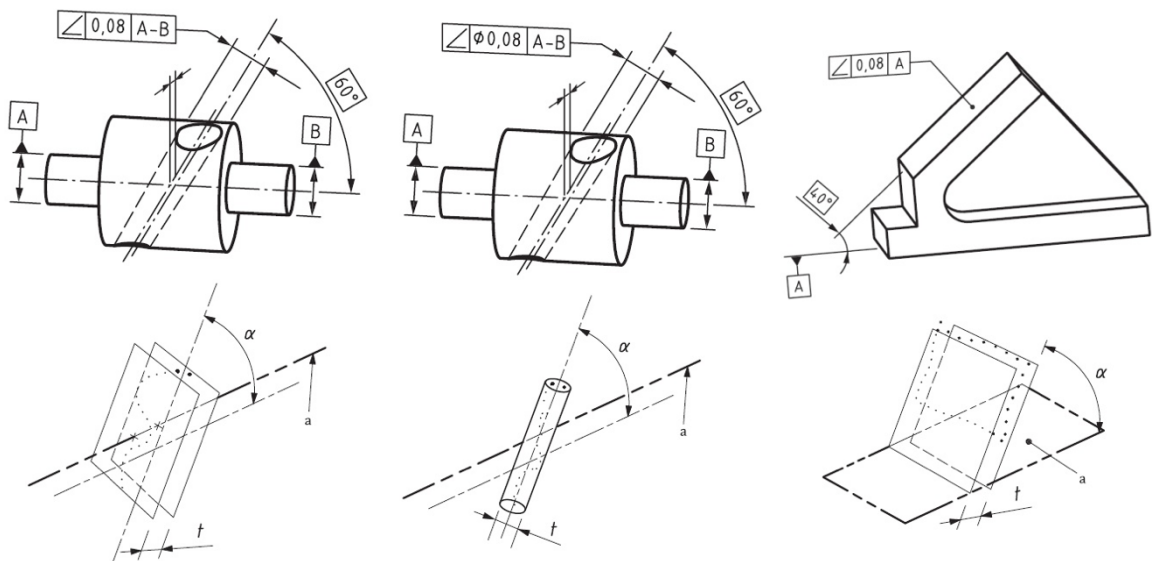
přímka, osa, rovina nebo střední rovina. Toleranční pole je obvykle vymezeno dvěma rovnoběžnými rovinami. Může být ovšem použito také toleranční pole válcové (pokud je v indikátoru tolerance uveden symbol). Postup určení je obdobný, jako v případě tolerancí rovnoběžnosti. Příklady jsou znázorněny na následujících obrázcích. [2] [3]



Obrázek 26: Příklady tolerování kolmosti [2]

2.2.9 Tolerance sklonu

Tolerovaným prvkem může být čára, osa nebo plocha. Základnou může být přímka, osa, rovina, střední rovina. Toleranční pole je vymezeno dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdáleny o rozměr tolerance „t“. Kromě předchozího může být toleranční pole také válcové. Toleranční pole je skloněno o definovaný úhel vůči základně. Sklon mezi tolerovaným prvkem a základnou musí být vždy kótován jako teoreticky přesný rozměr. Níže jsou uvedeny příklady tolerance sklonu včetně reprezentace tolerančního pole. [2] [6]



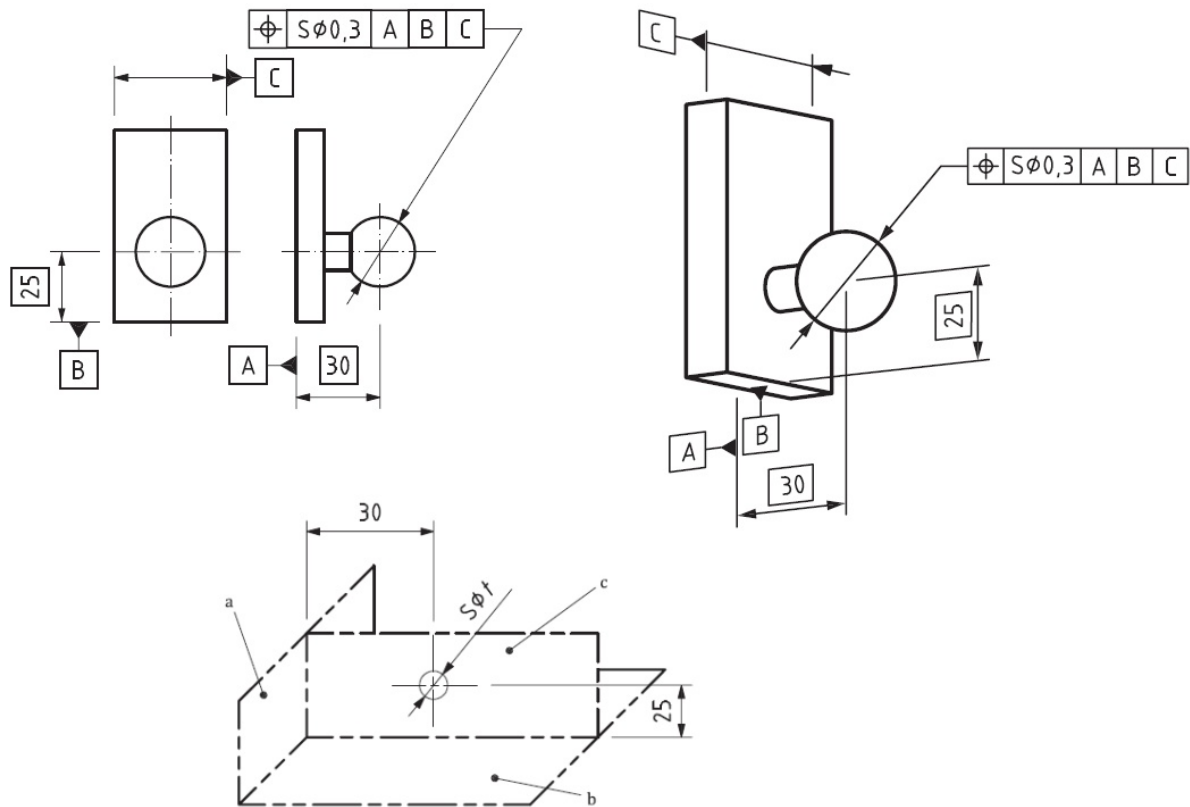
Obrázek 27: Příklady tolerování sklonu [2]

2.2.10 Tolerance polohy

Stejně jako předchozí, i tolerance polohy má více možností použitých tolerovaných prvků. Tolerovat lze polohu bodu, čáry, rovinné plochy a polohu střední roviny. Toleranční pole může být vymezeno dvěma přímkami, válcovou plochou, případně koulí. Poloha může být tolerována v jednom směru, ve dvou směrech, případně v libovolném směru pomocí užití válcového tolerančního pole. [2] [6]

Tolerance polohy bodu

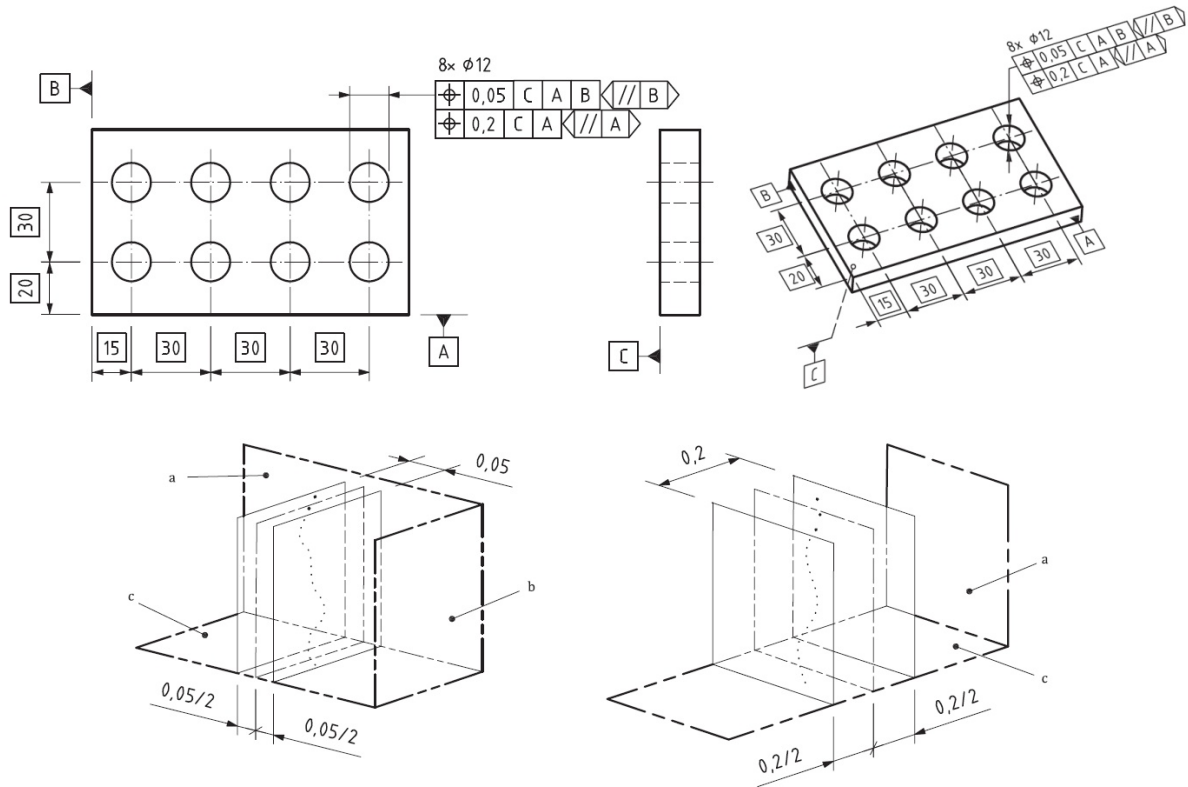
Extrahovaný střed koule tělesa z obrázku 26 se musí nacházet v tolerančním poli tvaru koule (před rozměrem tolerance je uveden symbol „SØ“) o průměru 0,3 mm. Střed tolerančního pole je zakótován pomocí teoreticky přesných rozměrů. [2]



Obrázek 28: Tolerance polohy bodu [2]

Tolerance polohy čáry (osy)

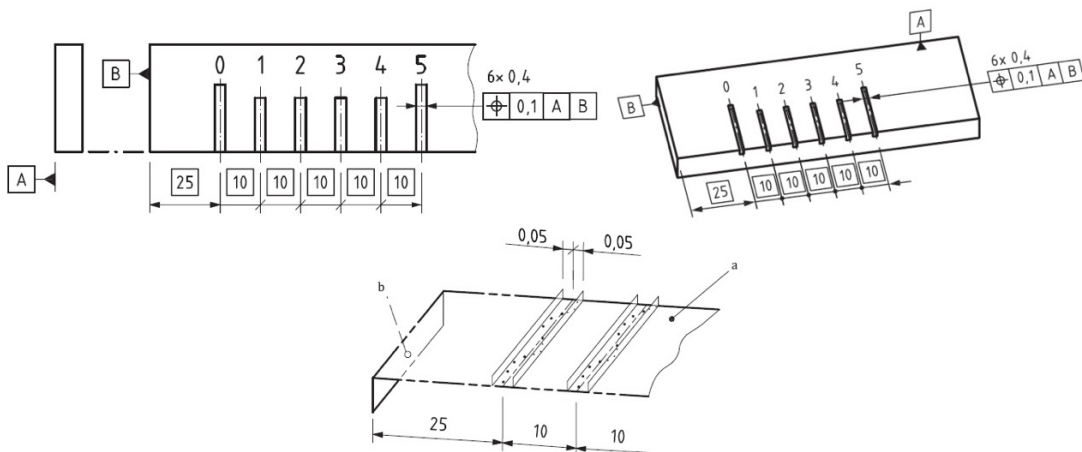
Extrahované osy děr tělesa z obrázku 27 musí ležet v tolerančním poli vymezeném dvěma páry rovnoběžných rovin, které jsou od sebe vzdáleny o 0,05, respektive 0,2 mm (v daném směru). Toleranční páry rovin jsou na sebe navzájem kolmé. Soustava rovin s tolerančním rozměrem 0,05 mm musí být kolmá na základnu C a A, a zároveň rovnoběžná se základnou B. Soustava rovin s tolerančním rozměrem 0,2 mm musí být kolmá na základnu C a musí být rovnoběžná se základnou A. V případě tolerance polohy osy může být indikátor tolerance doplněn symbolem „Ø“ pro válcové toleranční pole. [2]



Obrázek 29: Tolerance polohy osy [2]

Tolerance polohy střední roviny

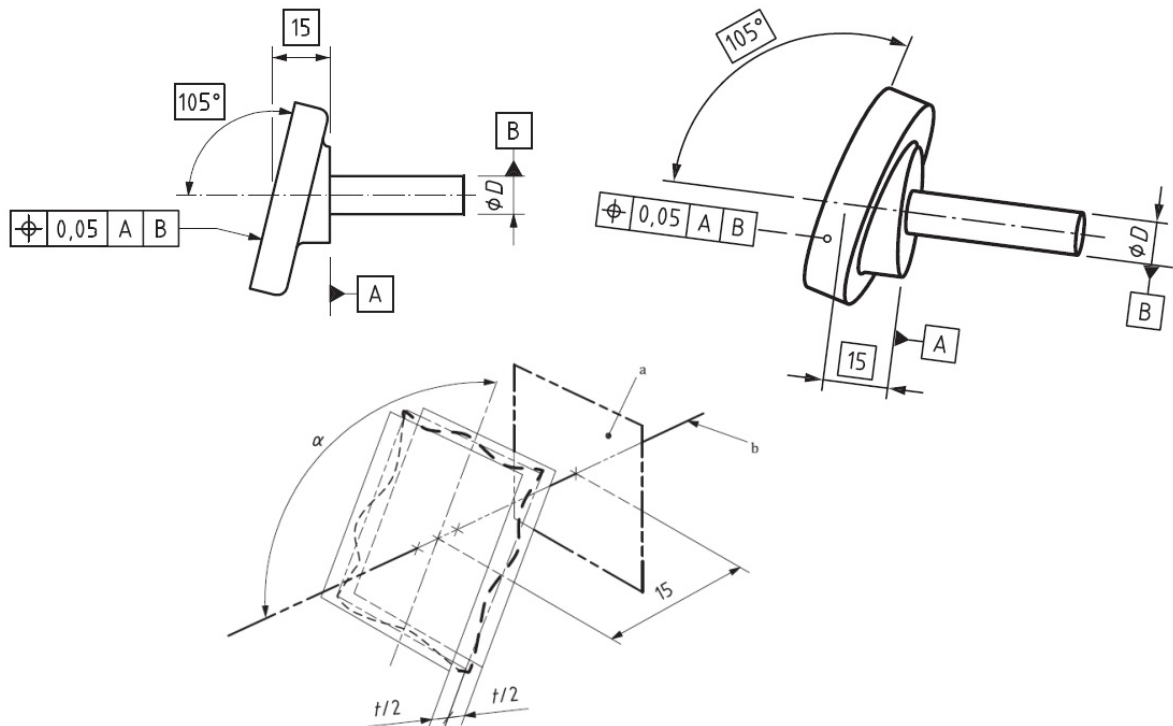
Extrahované středové roviny rysek z obrázku 28 musí ležet v tolerančním poli vymezeném soustavou párů rovnoběžných rovin. Páry rovin jsou od sebe vzdáleny o teoreticky přesné rozměry (v případě zvoleného příkladu o 10 mm). Vzdálenost dvou rovnoběžných rovin v páru je rovna rozměru tolerance $t = 0,1$ mm. Toleranční roviny jsou kolmé na základnu A a rovnoběžné se základnou B. Poloha je ustavena pouze v jednom směru. [2]



Obrázek 30: Tolerance polohy střední roviny [2]

Tolerance polohy rovinné plochy

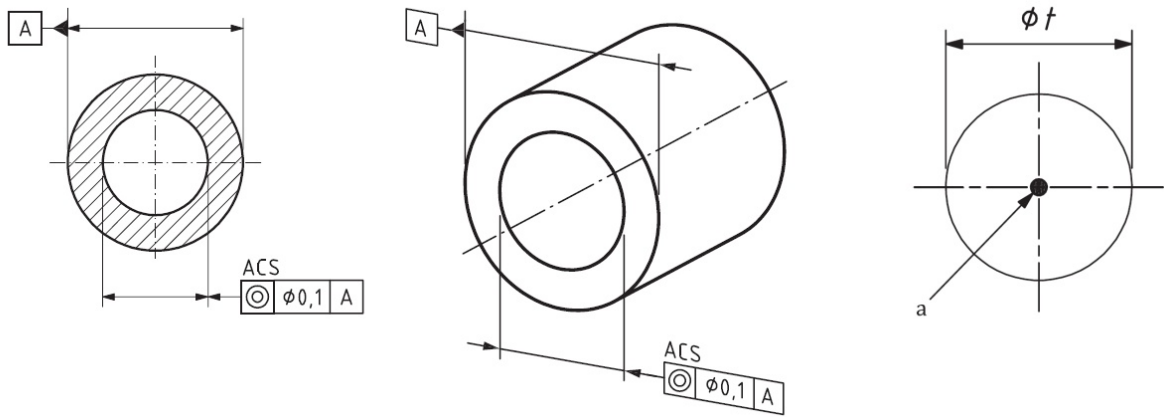
Extrahovaná rovinná plocha z obrázku 29 musí ležet v tolerančním poli vymezeném dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými o rozměr tolerance $t = 0,05$ mm. Roviny jsou symetricky vzdáleny o teoreticky přesný rozměr od základny A a svírají teoreticky přesný úhel se základnou B. [2]



Obrázek 31: Tolerance polohy rovinné plochy [2]

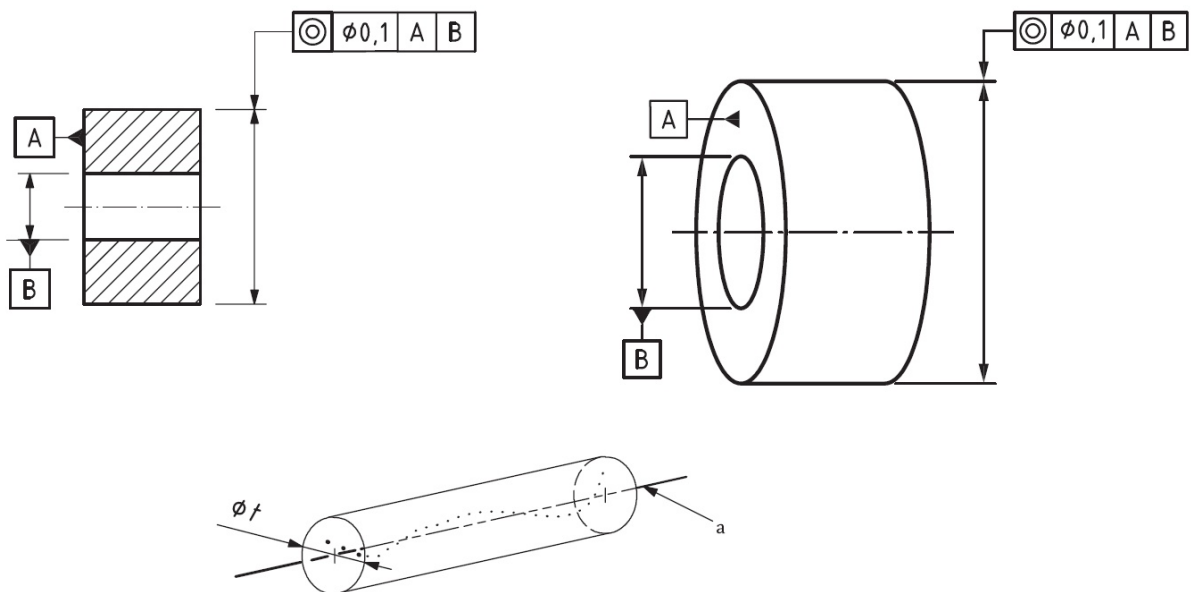
2.2.11 Tolerance soustřednosti/souososti

Při toleranci soustřednosti se tolerance vztahuje vždy na bod. Při toleranci souososti je tolerance vztažena k ose. Toleranční pole představuje, v případě soustřednosti, kruh o poloměru rozměru tolerance. V případě tolerance souososti je toleranční pole válcové. [2]



Obrázek 32: Tolerance soustřednosti [2]

Extrahovaný střed vnitřního kruhu řezu součásti z obrázku 30 musí ležet v tolerančním poli tvaru kruhu o rozměru $t = 0,1$ mm. Toleranční pole je soustředné se základnou A. [2]

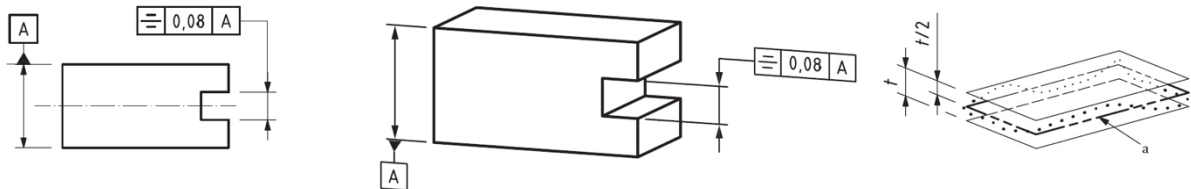


Obrázek 33: Tolerance souososti [2]

Extrahovaná osa součásti z obrázku 31 musí ležet v tolerančním poli tvaru válce o rozměru $t = 0,1$ mm. Toleranční pole je souosé se základnou B a kolmé na základnu A. [2] [5]

2.2.12 Tolerance souměrnosti

Tolerovaným prvkem může být čára, osa, plocha, případně střední rovina. Základnou může být přímka, osa, rovina nebo střední rovina. Toleranční pole je vymezeno dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými o rozměr tolerance „t“. [1] [2]



Obrázek 34: Tolerance souměrnosti [2]

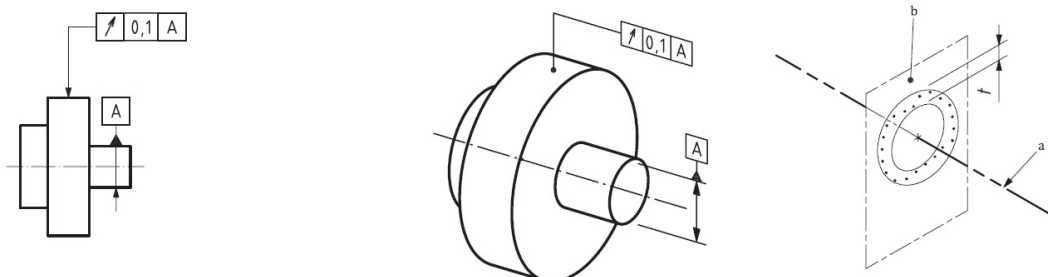
Extrahovaná středová rovina prvku z obrázku 32 musí ležet v tolerančním poli vymezeném dvěma rovnoběžnými plochami, které jsou od sebe vzdáleny o rozměr tolerance $t = 0,08$ mm. Roviny jsou rovnoběžné se základnou A. [1] [2]

2.2.13 Tolerance kruhového házení

Tolerance kruhového házení předepisuje pravidla pro tolerování házení na čelních, obvodových plochách a házení v libovolném směru. Základnou pro kruhové házení bývá vždy osa součásti. [2]

Tolerance obvodového kruhového házení

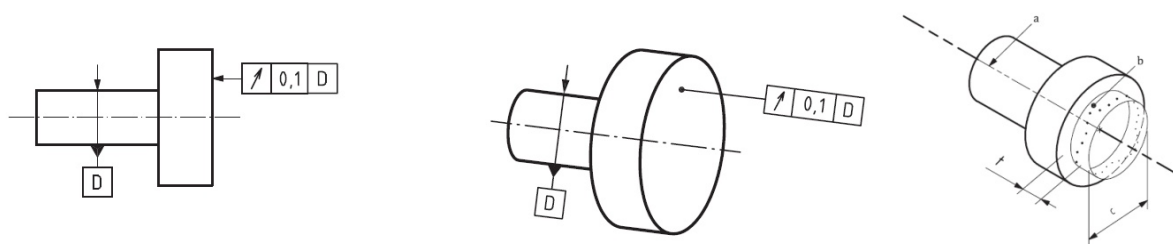
Všechny extrahované body tolerované plochy v libovolném řezu rovinou kolmou k základně musí ležet uvnitř tolerančního pole, které je vymezeno dvěma soustřednými kružnicemi o rozdílu poloměrů $t = 0,1$ mm. Střed kružnic leží na základní ose (viz příklad na obrázku 33). [2] [3]



Obrázek 35: Tolerance obvodového kruhového házení [2]

Tolerance čelního kruhového házení

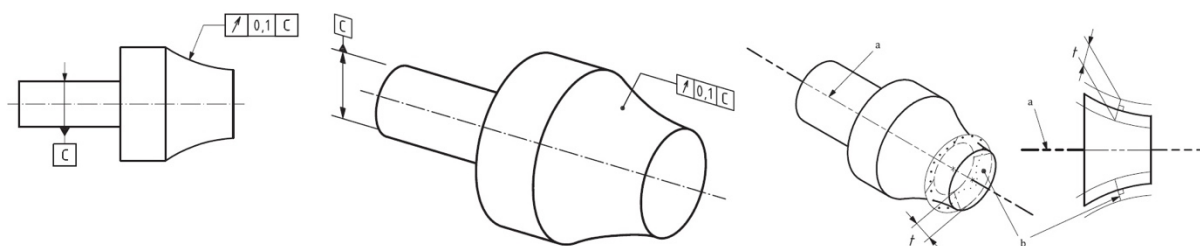
Všechny extrahované body z čela válce z příkladu na obrázku 34 musí ležet uvnitř tolerančního pole tvaru válcové plochy o šířce $t = 0,1$ mm. Toleranční válcová plocha je souosá se základnou D. Extrahované body musí náležet válcové toleranční ploše o libovolném průměru. [2] [6]



Obrázek 36: Tolerance čelního kruhového házení [2]

Tolerance kruhového házení v libovolném směru

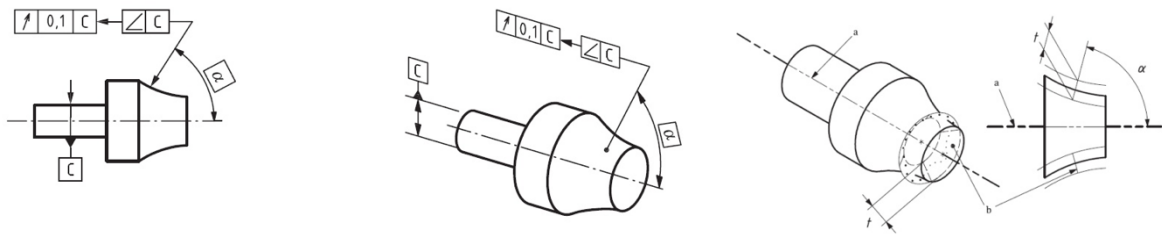
Všechny extrahované body plochy součásti z obrázku 35 musí ležet v tolerančním poli, které je vymezeno dvěma soustřednými kružnicemi o rozdílu poloměrů $t = 0,1$ mm. Toleranční pole je rovnoběžné se směrem normály k tolerovanému povrchu. [2] [3]



Obrázek 37: Tolerance kruhového házení v libovolném směru [2]

Tolerance kruhového házení v daném směru

Všechny extrahované body plochy součásti z obrázku 36 musí ležet v tolerančním poli, které je vymezeno dvěma soustřednými kružnicemi o rozdílu poloměrů $t = 0,1$ mm. Toleranční pole svírá teoreticky přesný úhel α se základnou C. [2] [5]



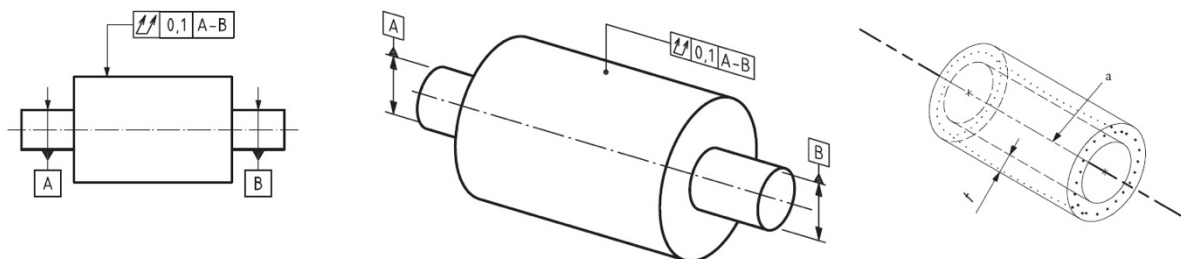
Obrázek 38: Tolerance kruhového házení v daném směru [2]

2.2.14 Tolerance celkového házení

Stejně jako toleranci kruhového házení, lze celkové házení rozdělit na celkové házení čelní a obvodové. Tolerovaným prvkem je čelní plocha, respektive plocha pláště válce. Základnou je vždy osa. [2] [6]

Tolerance celkového obvodového házení

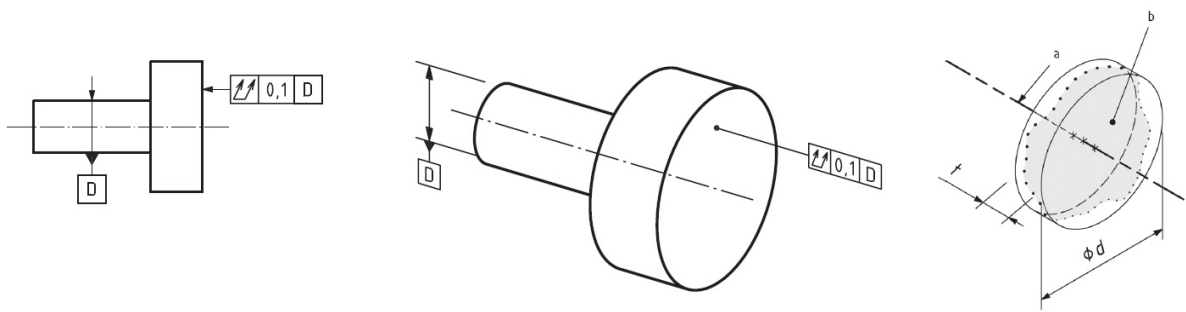
Extrahovaný povrch příkladu z obrázku 37 se musí nacházet v tolerančním poli vymezeném dvěma sousými válci o rozdílu poloměrů $t = 0,1$ mm. Osa tolerančního pole je rovnoběžná se společnou základnou A-B. [2] [5]



Obrázek 39: Tolerance celkového obvodového házení [2]

Tolerance celkového čelního házení

Extrahovaný povrch příkladu z obrázku 38 se musí nacházet v tolerančním poli vymezeném dvěma rovnoběžnými rovinami, které jsou od sebe vzdáleny o hodnotu tolerance $t = 0,1$ mm. Tyto roviny jsou navíc kolmé na základnu D. [2] [6]



Obrázek 40: Tolerance celkového čelního házení [2]

3 RPS (Reference Point System)

V koncernu Volkswagen je využíván systém RPS, který umožňuje ustavení a tolerance polohy dílů v automobilu a následnou kontrolu dílů. Zásady tvorby a metodika použití ve výkresové dokumentaci a CAD modelech je uvedena v interní normě VW 01055. [7] [8] [9]

RPS systém musí být navržen tak, aby byla zajištěna opakovatelná a spolehlivá výroba součástí v požadované přesnosti a kvalitě. Cílem procesu je stanovení správných ustavovacích míst pro jednotlivé díly a sestavy a minimalizace rozměrovosti dílů. Celý proces začíná již při návrhu součásti a končí vyhodnocením na CMM, případně kontrolou pomocí kontrolních přípravků. [7] [8]

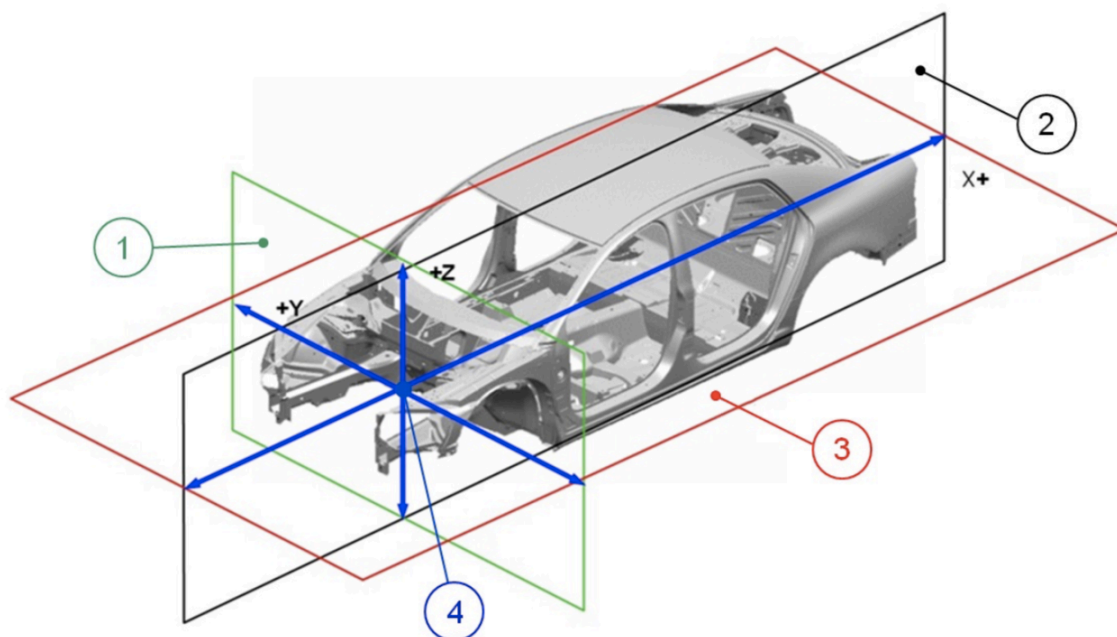
Díky systému RPS lze:

- Zvýšit spolehlivost vozidla,
- zvýšit bezpečnost,
- zajistit lepší lícování dílů,
- zmenšit ovládací síly (například zavírání dveří),
- snížit jízdní hluky vozidla.

3.1 Globální souřadnicový systém automobilu

Veškeré definice RPS bodů v automobilu jsou vztahovány k počátku tzv. globálního souřadnicového systému automobilu. Počátek globálního souřadnicového systému vozidla je stanoven ve výši přední nápravy a uprostřed její osy. Osa x je vedena v podélném směru automobilu. Osa y je rovnoběžná s osou přední nápravy. Osa z je vedena ve směru výšky vozu. [8]

RPS body jsou dány souřadnicemi x , y , z , které představují vzdálenost od počátku globálního souřadnicového systému automobilu. Dále mohou být RPS body doplněny o souřadnice určené v lokálním souřadném systému, jehož počátek je umístěn v referenčním bodě. Globální souřadnicový systém automobilu je znázorněn na následujícím obrázku. [8]



Obrázek 41: Globální souřadnicový systém automobilu [7]

Legenda:

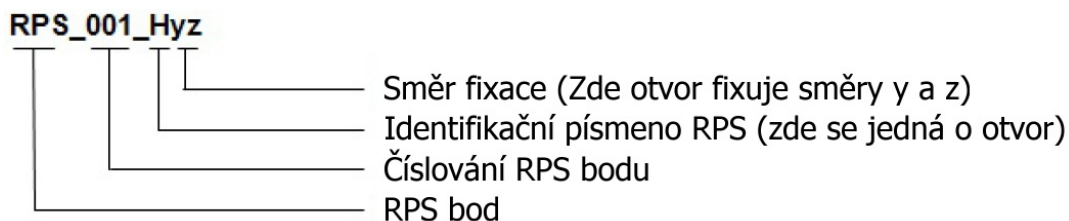
1. Vertikální rovina yz
2. Podélná střední rovina xz
3. Vodorovná podélná rovina xy
4. Počátek souřadného systému

3.2 Ustavovací body a plochy

Systém referenčních bodů RPS používá pro ustavení součástí body RPS, RB a LPS. Všechny ustavovací body jsou detailněji popsány v následujících kapitolách. [7]

3.2.1 Referenční RPS body

Jedná se o ustavovací body součástí. Jsou dále rozděleny na hlavní RPS body, vedlejší RPS body, případně referenční body obrábění (RB-body). Použití vedlejších RPS bodů je vyžadováno u dílů, jejichž části nejsou dokonale tuhé a hlavní RPS body nestačí pro pevné ustavení. RPS body jsou ve výkresové/bezvýkresové dokumentaci předepisovány v daném pořadí s názvoslovím dle obrázku 42. RPS body jsou definovány pomocí geometrických prvků RPS – takzvané RPS otvory, RPS plochy, RPS čepy. Přestože jsou RPS čepy definovány, nejsou běžně používány. [7]



Obrázek 42: RPS označení [7]

Značení RPS bodů se skládá ze třech polí oddělených podtržítkem. Značení začíná označením RPS. Na druhé pozici za podtržítkem je číslování bodu. Číslování hlavních RPS bodů začíná od čísla 001. Vedlejší body začínají od čísla 101, 021, nebo 051 (v závislosti na druhu). Poslední pozice se skládá z druhu RPS (plocha, díra, teoretický bod) a malého písmene, které značí směr ustavení. Princip značení je systematicky znázorněn v tabulce 3. [7]

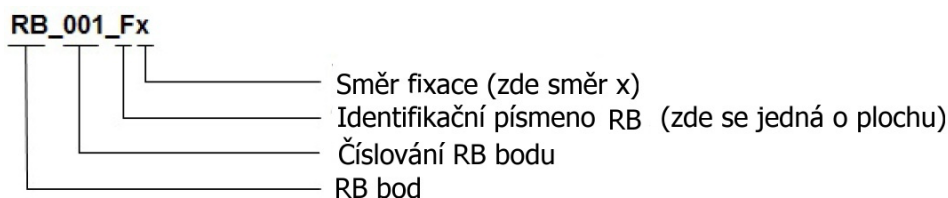
Tabulka 3: RPS značení

RPS body	Velká písmena	Význam
001 - 006	H	Otvor/čep
001 - 006	F	Plocha
001 - 006	T	Teoretický bod
Vedlejší RPS body	Malá písmena	Význam
Od 101	h	Díra/čep
Od 101	f	Plocha
021 - 050	f/h	Otvor/čep/plocha pro vedlejší RPS body, ze kterých vzniká teoretický bod
051 - 099	h/f/w	Otvor/čep/plocha/úhel pro systémy kloubových a posuvných uložení.
	Směry fixace	Význam
	x, y, z	Pro systémy rovnoběžné se sítí
	a, b, c	Pro pootočené systémy

3.2.2 Referenční RB body obrábění

Konstrukční díly, jejichž otvory nebo plochy vznikají až v průběhu obrábění (frézování ploch a vrtání otvorů), je pro předběžné polohování nutné doplnit o tzv. referenční body obrábění (RB). Pomocí RB bodů dosáhneme jednoznačného prvního ustavení dílu pro výrobu a ke kontrole RPS bodů podle pravidla 3-2-1. [7]

RB body umísťujeme do procesně spolehlivých oblastí na konstrukčním dílu. RB body umísťujeme přednostně do funkčních oblastí, abychom dosáhli co nejmenší tolerance konstrukčního dílu při ukládání do RPS. Po zavedení RPS ztrácí RB pro následné procesy platnost. Zápis a číslování je analogické jako u RPS (obrázek 40). [7]



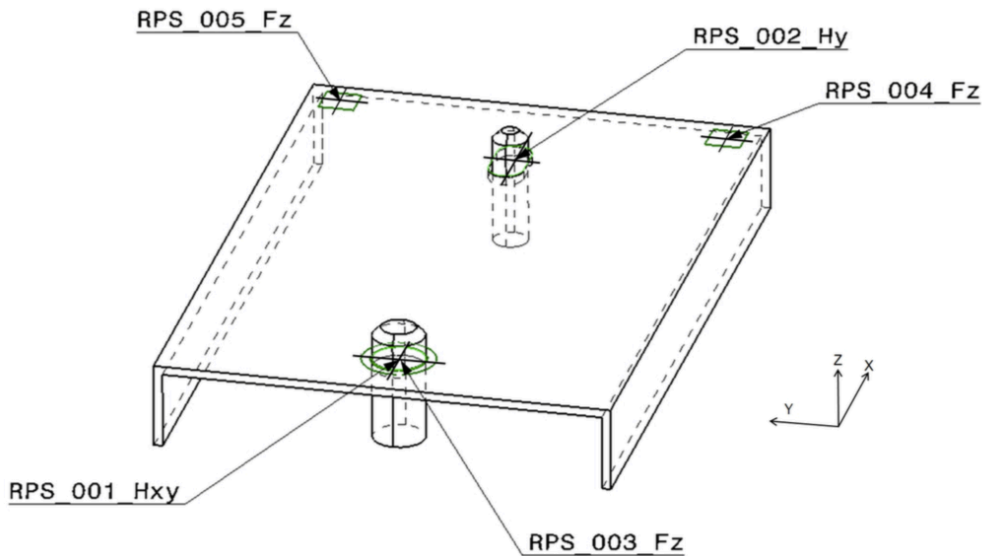
Obrázek 43: Označení [7]

3.2.3 Lokální polohovací systémy (LPS) pro funkční oblasti

LPS je možno použít pro využití lokálního polohovacího systému na komplexní díly automobilu. LPS může být použito například na kokpit automobilu, který rozdělíme do následujících funkčních oblastí: oblast airbagu, ofukování vlevo a vpravo. Systém LPS není příliš využíván. U většiny součástí postačuje přesnost, kterou zaručují již samotné RPS body. [7]

3.3 Pravidlo 3-2-1

Každé těleso v prostoru má šest stupňů volnosti. Pravidlo 3-2-1 umožňuje jednoznačnou fixaci tělesa. Pro upevnění tělesa potřebujeme zpravidla šest bodů, které jsou umístěné co nejdále od sebe (aby byla zajištěna co nejpevnější stabilita). Příklad zavazbení dle pravidla 3-2-1 je uveden na následujícím obrázku. [7]

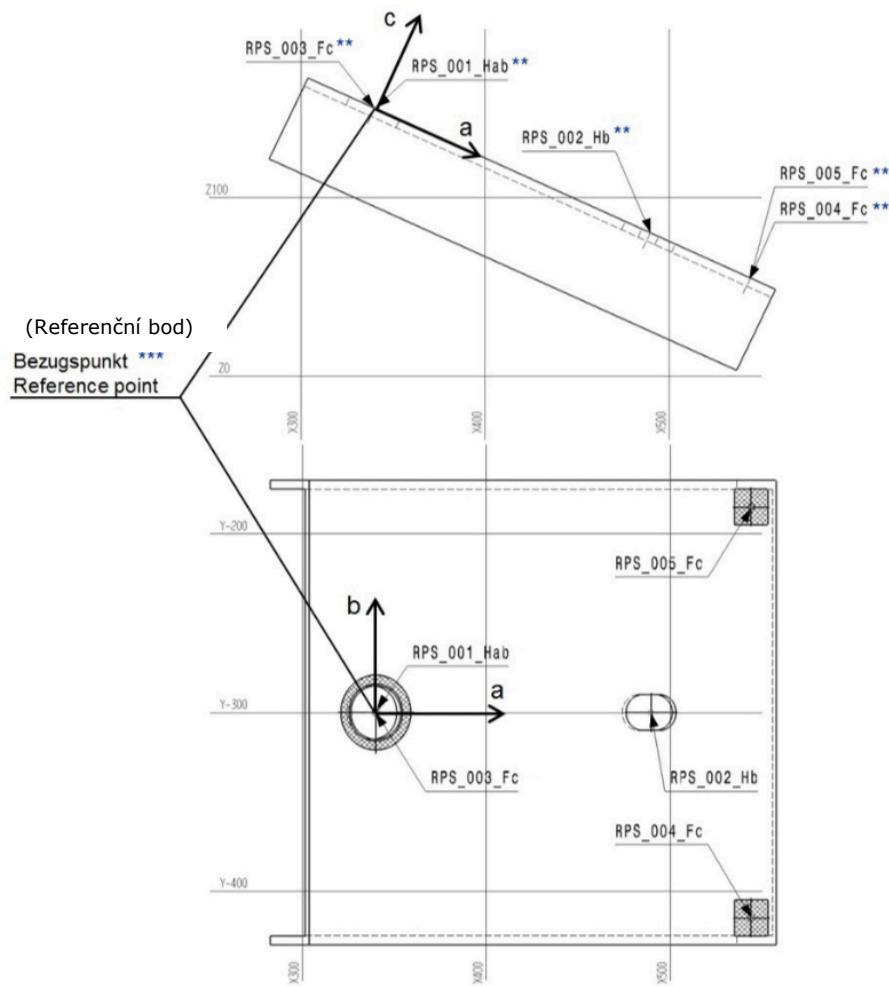


Obrázek 44: Pravidlo 3-2-1 [7, 8]

Na obrázku 44 je těleso nejprve zafixováno ve směru osy z za pomoci třech dosedacích ploch (odebrány 3 stupně volnosti). Dále je těleso ustaveno vůči translačnímu (v ose y) a rotačnímu pohybu (kolem osy z) pomocí drážky a kruhového otvoru (odebrány další 2 stupně volnosti). Kruhový otvor zároveň zabraňuje pohybu tělesa ve směru osy x (odebrán poslední stupeň volnosti). [7]

3.4 RPS tabulka

Všechny RPS body a otvory jsou zapisovány do RPS tabulky, která musí být vždy doplněna k výkresu. Pro ukázkou RPS tabulky byla zvolena součást z předchozího obrázku, potočená o 25° vůči ose y (obrázek 45). Tabulka 4 představuje RPS tabulku vztaženou k součásti z obrázku 45. Standardně jsou popisy v RPS tabulce vedeny dvojjazyčně v jazyce anglickém a německém. Pro demonstrační účely byla tabulka 4 ponechána v původním jazyce. Důležité popisky byly označeny čísly a následně vysvětleny níže. [7]



Obrázek 45: Ukázková součást (pootočená o 25° vůči ose y)

- ** Dvojí značení slouží pouze k lepší názornosti příkladu
- *** Referenční bod je zde zvýrazněn pouze k lepší názornosti příkladu

Tabulka 4: RPS tabulka

RPS Tabelle Teil-Nr.: 123.456.789 RPS Table part no.:				Bezugspunkt: 7. x: 340.00 y: -300.00 z: 150.00 Reference point: Theor. Drehwinkel um Achse: x: - y: 25.00 z: - 6. Theor. angle of rotat. around axis:							
Feld Sect.	RPS 1.	Globale Koordinaten 2. Global coordinates			Aufnahmeart/ Mounting type 3. Bemerkung/ Note	Lokale Koordinaten 4. Local coordinates			Toleranzen/Tolerances 5.		
		x/a	y/b	z/c		x/a	y/b	z/c	x/a	y/b	z/c
	RPS_001_Hab	340.00	-300.00	150.00	Ø30.0 +0.2 round hole	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	-
	RPS_002_Hb	489.54	-300.00	80.27	20.0 +0.2 x 30.0 +0.5 oblong hole	165.00	0.00	0.00	±0.5 *	0.0	-
	RPS_003_Fc	340.00	-300.00	150.00	Ø32 -1 x Ø42 +1 circular ring surface	0.00	0.00	0.00	±0.5 *	±0.5 *	0.0
	RPS_004_Fc	543.92	-415.00	54.91	20 +1 x 20 +1 surface	225.00	-115.00	0.00	±0.5 *	±0.5 *	0.0
	RPS_005_Fc	543.92	-185.00	54.91	20 +1 x 20 +1 surface	225.00	115.00	0.00	±0.5 *	±0.5 *	0.0

- Do sloupce „1“ RPS tabulky (tabulka 4) se zapisuje označení RPS bodů.
- Poloha RPS bodů vůči globálnímu souřadnicovému systému automobilu se zapisuje do sloupců „2“.
- Tvar, rozměry a tolerance rozměru RPS bodů se zapisují do sloupce „3“.
- Tabulka může být doplněna lokálními souřadnicemi „4“. Tyto souřadnice je vhodné použít právě pro součásti, které nemají plochy rovnoběžné se souřadnicovou sítí automobilu. V takovém případě je zvolen referenční bod „7“, vůči kterému se lokální souřadnice vztahují.
- Ve sloupcích „5“ jsou doplněny tolerance polohy RPS bodů.
- Na pozici „6“ je definován úhel natočení lokálního souřadného systému. Lokální souřadný systém součásti z obrázku 45 je pootočen o 25° vůči ose y globálního souřadného systému automobilu.
- Na pozici „7“ jsou uvedeny souřadnice referenčního bodu. Na součásti z obrázku 45 je za referenční bod volen RPS otvor RPS_001_Hab.

4 Porovnání RPS a tolerančních základů dle ISO

V předchozích kapitolách byla teoreticky shrnuta problematika obou metod. V této kapitole je uvedeno praktické porovnání systému referenčních bodů RPS dle VW 01055 se systémem tolerančních základů dle ISO 5459.

Systém RPS byl vyvinut za účelem ustavení a kontroly tolerance především plechových a méně tuhých dílů. Za účelem porovnání byl v programu CATIA vytvořen fiktivní model dveří automobilu, na kterém lze dokonale demonstrovat použití obou metod ustavení. V závěru kapitoly jsou shrnuty výhody a nevýhody, které z porovnání vyplývají.

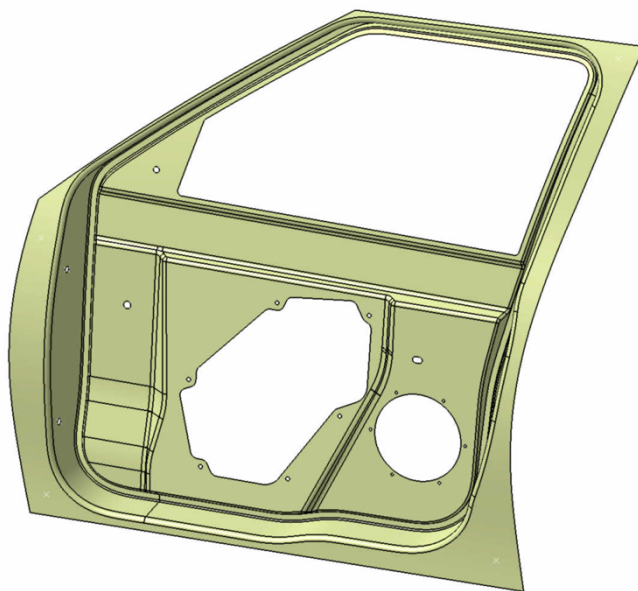
4.1 Postup aplikace obou metod v programu CATIA

Pro obě metody jsou v programu CATIA připraveny nástroje pro aplikaci na model/výkres. Pro aplikaci RPS bodů poslouží nástroj RPS-Tool. Pro aplikaci základů a tolerancí dle ISO slouží workbench CATIA FTA – 3D Functional Tolerancing & Annotation 2. Standardně jsou těmito nástroji specifikace aplikovány na 3D model (možnost bezvýkresové dokumentace) a poté jsou promítnuty na výkres. Pro názornost je vytvořen 3D model s PMI (Product Manufacturing Information). Pro úplnost jsou v příloze zhotoveny výkresy.

4.1.1 Aplikace RPS bodů

Na počátku je potřeba připravit model. Jako ukázkový příklad bude sloužit 3D model dveří automobilu (na obrázku 46). Předpokládejme, že příslušná oddělení již definovala polohu a rozměry RPS bodů (dle příslušných katalogů). Po odsouhlasení jsou RPS body zaneseny do 3D dat.

Dále je nutné body správně zaneset do 3D modelu. Nejdříve se vytvoří všechny příslušné body a otvory, na které bude systém RPS aplikován. Otvory je možné vytvořit pomocí nástroje LTA Tool. Pokud bude otvor v průběhu změn, dojde ke změně definice RPS v 3D modelu, na výkrese a také v RPS tabulce.

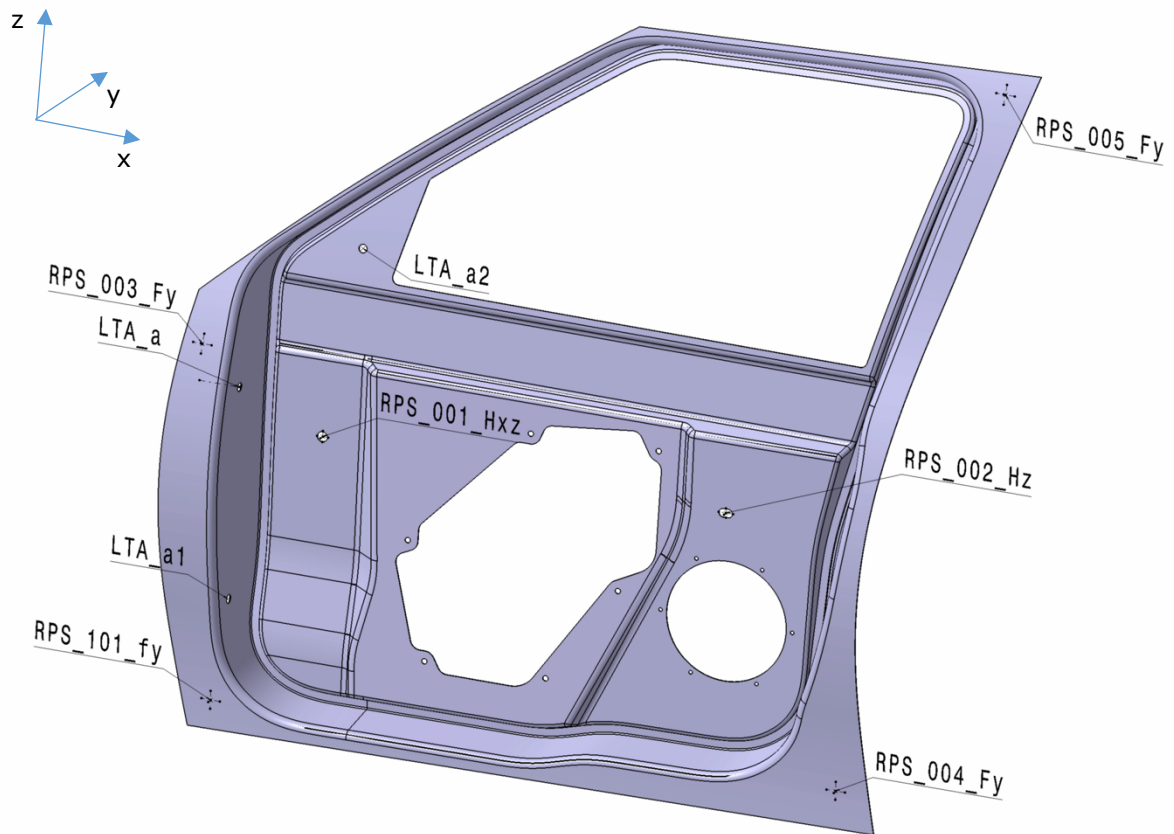


Obrázek 46: Připravený 3D model

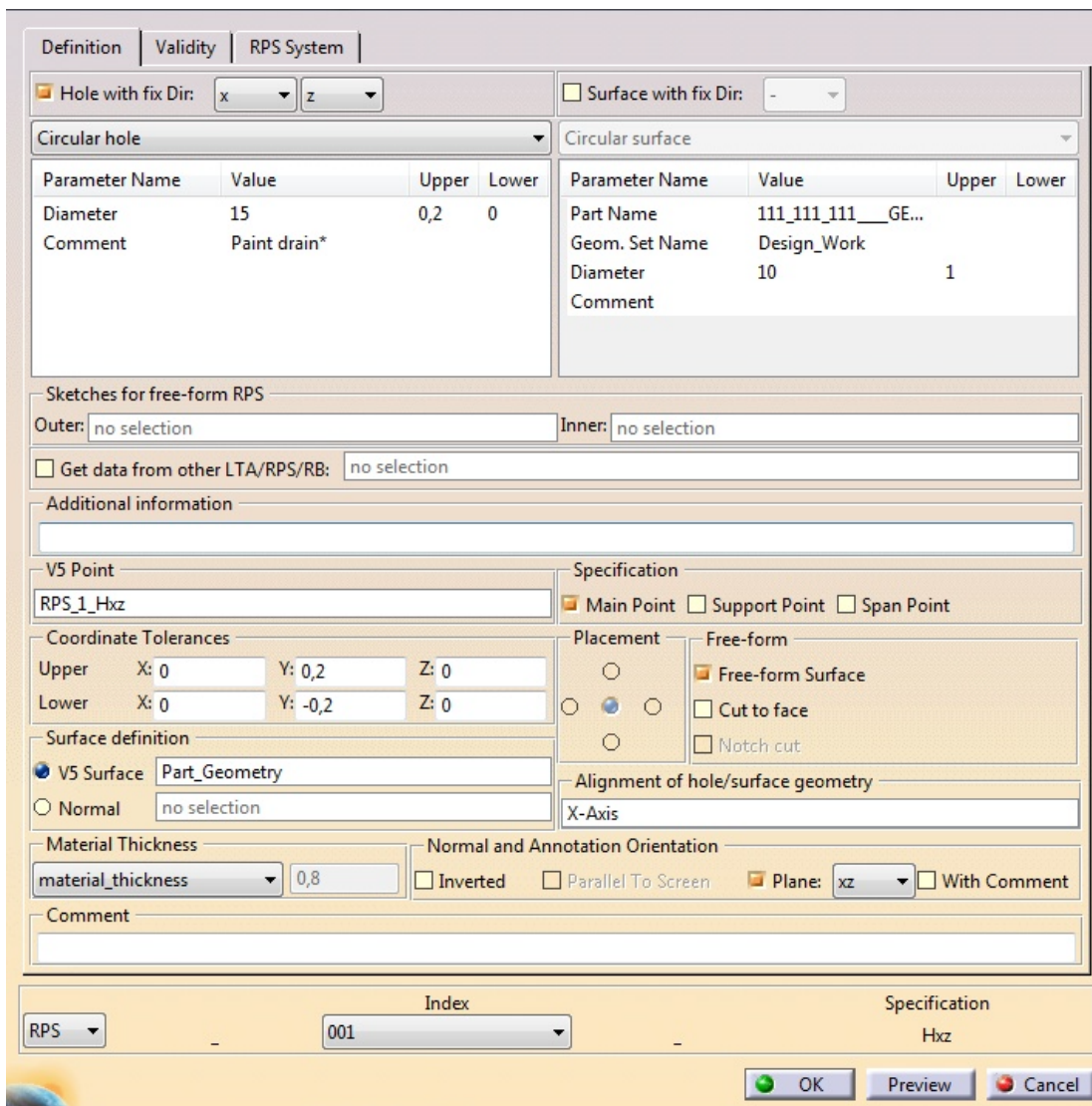
RPS Tool nabízí značné množství nastavení. Jako první vlastnost RPS bodu je nutno zvolit druh (díra/plocha). Dále je zvolen směr fixace, který nástroj automaticky vyhodnocuje (při nesmyslné definici směru, který by byl v rozporu se zvoleným elementem, je uživatel upozorněn). V nabídce je možno vybírat z několika standardizovaných rozměrů dosedacích ploch/otvorů. Číslování RPS bodů provádí nástroj automaticky dle normy. Pomocí políčka „Get data from other LTA/RPS/RB“ je možné provázat RPS bod s LTA otvorem. V takovém případě není potřeba vyplňovat informace o RPS bodu (budou získány a provázány s LTA otvorem). Výsledek je vyobrazen na obrázku 47. Na obrázku 48 je zobrazen náhled do definice vlastností RPS bodu.

V případě tvorby výkresu je možné převzít celý RPS systém z 3D modelu. Program si automaticky převezme všechny 3D texty a převede je na vý-

kres do zvoleného pohledu. Tabulka s RPS je taktéž generována na základě informací vyplněných ve 3D modelu. Proces je velmi rychlý a praktický.



Obrázek 47: Výsledek aplikace RPS bodů a LTA otvorů



Definition | Validity | RPS System

Hole with fix Dir: x z Surface with fix Dir: -

Circular hole

Parameter Name	Value	Upper	Lower
Diameter	15	0,2	0
Comment	Paint drain*		

Circular surface

Parameter Name	Value	Upper	Lower
Part Name	111_111_111__GE...		
Geom. Set Name	Design_Work		
Diameter	10	1	
Comment			

Sketches for free-form RPS

Outer: no selection Inner: no selection

Get data from other LTA/RPS/RB: no selection

Additional information

V5 Point

RPS_1_Hxz

Coordinate Tolerances

	X	Y	Z
Upper	0	0,2	0
Lower	0	-0,2	0

Surface definition

V5 Surface Part_Geometry

Normal no selection

Material Thickness

material_thickness 0,8

Normal and Annotation Orientation

Inverted Parallel To Screen Plane: xz With Comment

Comment

RPS - Index 001 Specification Hxz

OK Preview Cancel

Obrázek 48: RPS Tool

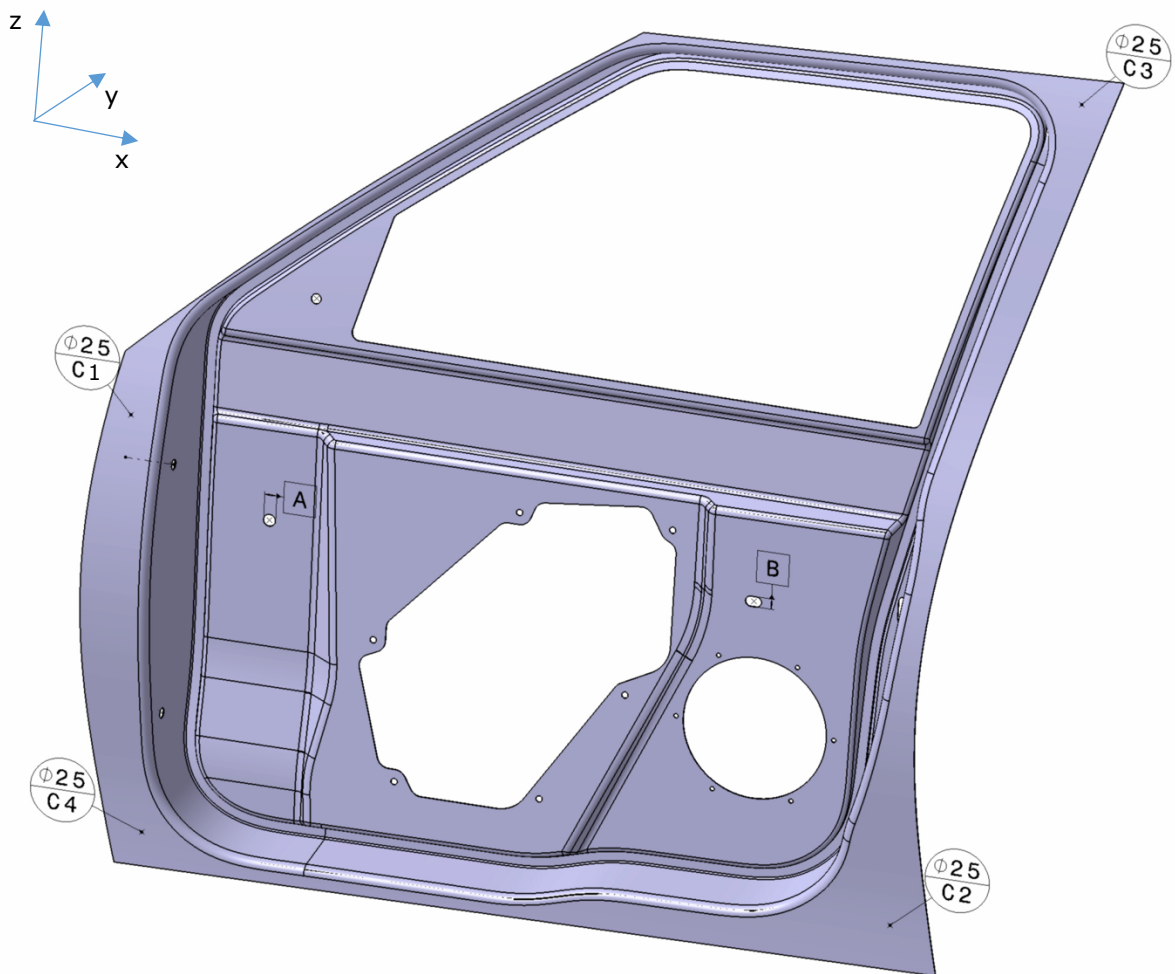
4.1.2 Aplikace ISO základů

V případě aplikace ISO základů na výkres jsou v programu defaultně implementovány všechny potřebné nástroje pro zanesení informací do výkresu. Pokud je vyžadována aplikace ISO základů na 3D model s PMI, je v aplikaci CATIA nutné aktivovat workbench FTA – 3D FUNCTIONAL TOLERANCING & ANNOTATION.

Aplikace základů na 3D model je velice intuitivní. Pomocí funkce „Tolerancing Advisor“ CATIA automaticky vyhodnocuje zvolený geometrický prvek a na jeho základě navrhuje použití základů a možné typy geometrických tolerancí. Základny jsou automaticky značeny a hodnoty tole-

rancí jsou přebírány z vlastností geometrického prvku z 3D modelu. Tolerance a základny je možné kromě pomocníka vkládat také manuálně a zcela individuálně.

Při tvorbě výkresu software CATIA umožňuje přenést veškeré základny a geometrické tolerance aplikované v 3D modelu. Přenos je možný provést automatizovaně pomocí volby pohledu definovaném v 3D modelu.



Obrázek 49: Výsledek aplikace pomocí ISO základen

4.2 Hodnocení procesu aplikace obou metod

Proces aplikace obou metod je v programu CATIA velmi podobný. Obě metody je možné použít přímo na 3D model a poté z modelu „odvodit“ výkres, aniž by bylo potřeba texty znovu vynášet. V následujících kapitolách jsou shrnuty výhody jednotlivých metod.

Hlavní výhodou při definici RPS bodů je rozsáhlejší možnost nastavení v nástroji RPS Tool. Je například možné nadefinovat pravidlo 3-2-1, přebírat vlastnosti geometrických prvků z LTA, automaticky na použitém RPS generovat tabulku a další.

Nástroj zároveň umožňuje základní kontrolu při definici RPS bodů. V případě, že uživatel zadá směr ustavení, který se neshoduje s geometrickým prvkem, je nástrojem okamžitě upozorněn na nekorektní definici.

Tvorba výkresu ze 3D modelu je automatizovaná. RPS body jsou přiřazeny ke geometrickým prvkům a je možné je velmi rychle přenést do požadovaného pohledu na výkrese. RPS texty je také možné převést na výkres pomocí kopie pohledu ze 3D modelu (v případě ISO se jedná o jedinou možnost).

Shrnutí aplikace RPS bodů:

- Specializovaný nástroj RPS Tool umožňuje rozsáhlé možnosti,
- nástroj automaticky kontroluje správnost aplikace,
- rozsáhlejší nastavení přenosu PMI na výkres,
- automatické generování RPS tabulky,
- RPS data se prováží s LTA otvory,
- při aplikaci se někdy vyskytovaly chyby (například samovolná změna anotační roviny při editaci parametrů),
- proces aplikace je ve srovnání s aplikací ISO základen pomalejší.

Postup aplikace základen ISO na 3D model je jako v případě RPS realizován specializovaným nástrojem „Tolerancing Advisor“. Nástroj automaticky čísluje základny a nabízí vhodné typy geometrických tolerancí v závislosti na geometrickém prvku. Uživatele dokáže upozornit na základní chyby. Pokud uživatel nevyžaduje aplikaci na 3D model s PMI, není nutné mít rozšiřující modul FTA – 3D FUNCTIONAL TOLERANCING & ANNOTATION.

Shrnutí aplikace základen a tolerancí dle ISO:

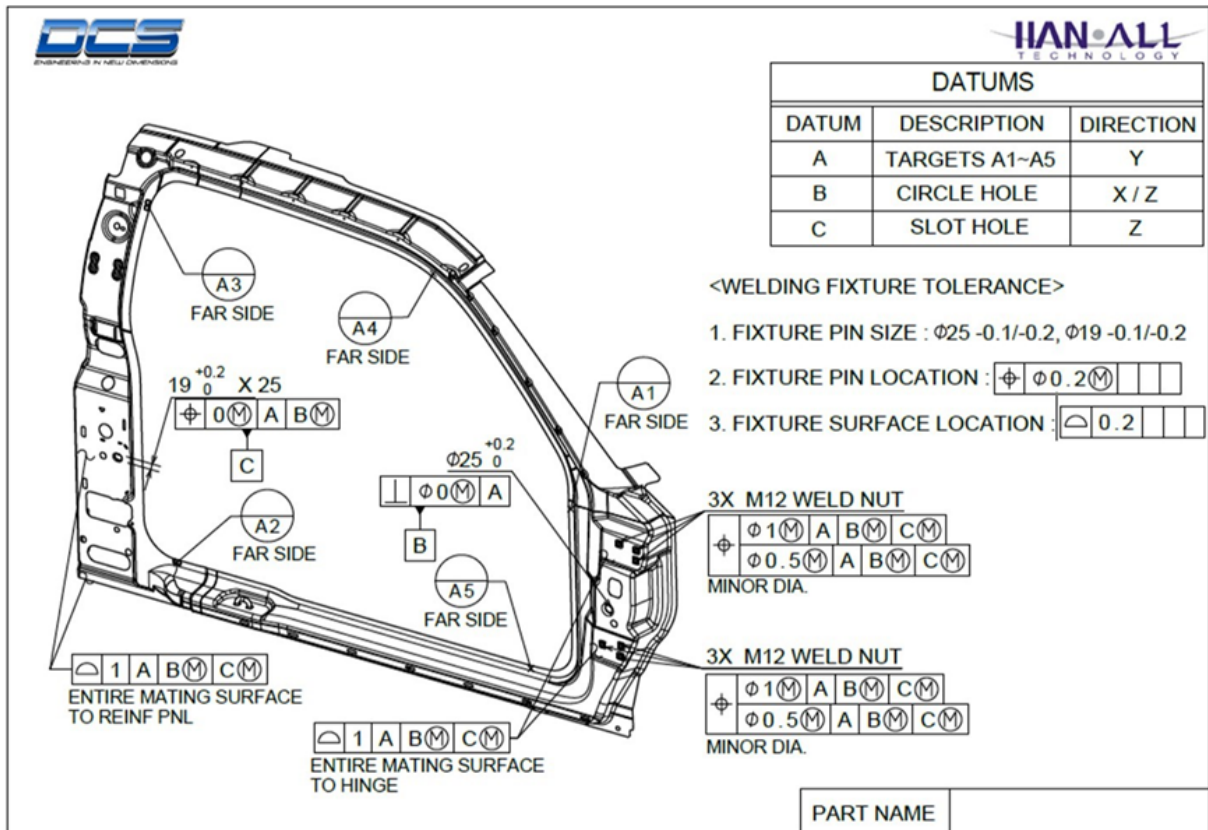
- Celý modul „FTA – 3D FUNCTIONAL TOLERANCING & ANNOTATION“ je více odladěný (při aplikaci se nevyskytly žádné chyby),
- proces aplikace je rychlejší než v případě aplikace RPS bodů,
- vynikající a intuitivní aplikace pomocí nástroje „Tolerancing Advisor“.

4.3 Porovnání zobrazení obou metod

Obě metody lze použít jak na 3D model s PMI, tak na klasický výkres. Při použití základen dle ISO může někdy vznikat problém s nejednoznačnou definicí otvoru a směru ustavení. Problém se týká především výkresové dokumentace velice komplexních a tvarově složitých součástí. Jak již bylo rozebíráno v předchozích kapitolách – základny dle ISO jsou označeny pouze písmeny, respektive písmeny a čísly (v případě dílčích základen), která se směrem a tvarem geometrického prvku nemají žádnou souvislost.

Soustava RPS bodů naopak vždy definuje, již v označení RPS na odkazové čáře, směr ustavení. Dále musí být vždy přiložena RPS tabulka, kde lze vyčíst další informace o RPS bodu, především jeho tvar a velikost. Díky této jednoduché vlastnosti lze s absolutní jistotou RPS body vždy přesně interpretovat i u velice rozměrných a složitých součástí, jejichž geometrické prvky nemusí být na první pohled zřejmé.

Určitou obdobu představuje tolerování dle americké normy ASME GD&T. Ta rozšiřuje obyčejné značení základen o tabulku, která blíže specifikuje směr a tvar geometrických prvků. Na obrázku 50 je uveden praktický příklad od americké společnosti DCS.



Obrázek 50: Ukázka základen s tabulkou [10]

4.4 Všeobecné porovnání

Na obrázku 50 je vyobrazen 3D model plechového dílu. Ustavení ve směru Y je realizováno základnou A, která je složena z pěti dílčích základen A1–A5. Zde lze pozorovat první problém ustavení rozměrných plechových dílů pomocí základen. Teoreticky je pro ustavení směru v prostoru potřeba 3 bodů. V reálné praxi by ale ustavení součásti z obrázku 50 za tři body pravděpodobně nestačilo. Součást je zhotovena z tenkého plechu a tuhost celé součásti je nízká. Z funkčních důvodů je nutné součást ustavit za více bodů, aby při silovém působení nedocházelo k nežádoucímu průhybu. Ustavením směru „y“ součásti z obrázku 50 pomocí pěti dílčích základen vznikne nadměrný počet vazeb. Při vyhodnocení

může vzniknout problém nejednoznačné definice roviny, která je definovaná základnou A. U reálné součásti nelze předpokládat, že všechny dílčí body, na které jsou aplikovány dílčí základny, budou ležet ve stejné rovině.

System RPS je na tento případ připraven. Rovina tvořená základnou A se nadefinuje pomocí tří hlavních RPS bodů a na zbylé dva body se použijí pomocné RPS body, které budou sloužit pouze pro dodatečnou podporu součásti.

Každá z metod má samozřejmě své klady a své zápory. Přestože lze model dveří automobilu ustavit pomocí základen, metoda v zásadě nepřinese žádné výhody navíc. U rozměrnějších plechových částí většinou nejsou předepsány individuální geometrické tolerance, které by se na základny vázaly. Pro přesnější plochy se většinou na výkrese využívá ohraničení, které představuje příslušnou toleranci (uvádí se v legendě). Požadované měřicí body a jejich úchytky stanoví příslušné oddělení v doplňkové dokumentaci. Samotné vyhodnocení je poté prováděno například na CMM strojích přímo vůči 3D modelu. U pohledových dílů automobilu je zvláště důležité slícování. Na počátku vývoje vozu je definován plán spár, který je poté zapracován do montážních návodů.

Pro funkční oblasti plechových dílů, kde je vyžadován důraz na vyšší přesnost, se RPS může doplnit geometrickými tolerancemi. Příkladem může být otvor zámku na dveřích automobilu, kde je pro komfortní dovření dveří vyšší přesnost nutná.

Naopak u mechanických součástí automobilu je potřeba zaručit bezchybnou funkci součásti. Například při konstrukci motorového a převodového ústrojí je kromě ustavení potřeba zajistit vysokou přesnost funkčních ploch, které přímo ovlivňují chod dané součásti. Z tohoto důvodu by nebylo použití RPS příliš výhodné, protože obejít se bez klasických geometrických tolerancí by stejně nebylo možné. Z těchto důvodů se RPS systémem ve zmíněných odvětvích nepoužívá.

Pro úplnost byly vytvořeny výkresy vnitřního dílu dveří automobilu s využitím základen dle ISO 5459:2011 a RPS dle VW 01055:2017. Plechové díly dobře demonstrují výhody využití systému referenčních bodů RPS. Jelikož díl dveří automobilu je velice tvarově složitá součást, která navíc obsahuje mnoho funkčních otvorů a ploch pro ostatní součásti, úplné zakótování všech tvarů a elementů by bylo velice nepřehledné. V praxi se tedy většina rozměrů, nutných například pro výrobu lisovacího a střížného nářadí, přebírá přímo z 3D modelu. Na výkresu jsou vždy definovány RPS body, doplněné RPS tabulkou. Funkční plochy/otvory jsou indexovány a blíže specifikovány a tolerovány v rozšiřující tabulce. Výkres v příloze byl sestrojen z fiktivní, a velice zjednodušené součásti vnitřních dveří automobilu. Kótování a tabulky na výkresu byly zvoleny tak, aby se co nejvíce přibližovali skutečnosti. Informace, které se přímo netýkají bakalářské práce nebyly do výkresu zaneseny. V souvislosti se zaměřením bakalářské práce a nutnosti kompaktnosti přílohy se nejedná o kompletní výkresovou dokumentaci dílu.

V příloze 2 je uveden také výkres stejného dílu s využitím základen a geometrických tolerancí dle ISO 5459:2011 a ISO 1101:2017. Pro kompaktnost přílohy se nejedná o kompletní výrobní výkres. Pro výrobu součásti dle výkresu by bylo potřeba mnohem více pohledů a řezů. Nicméně pro potřeby a zaměření této práce postačí zobrazení v méně pohledech a okótování pouze základních a důležitých rozměrů pro ustavení a funkční plochy. Jak si lze všimnout z přílohy 2, RPS body jsou nahrazeny základnami a tolerance RPS bodů z tabulky mohou být nahrazeny geometrickými tolerancemi polohy, případně geometrickými tolerancemi profilu obecné čáry/plochy. Jak již bylo zmíněno dříve, rozhodně se nejedná o reálný příklad z praxe. Výkres z přílohy 2 je spíše experimentální alternativou, určenou k demonstraci možné zaměnitelnosti obou metod.

5 Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce bylo zpracování rozboru možností aplikace tolerančních základů v automobilovém průmyslu. První část práce byla věnována teoretickému rozboru geometrických tolerancí. Zde byly shrnuty všechny důležité definice a termíny, které se vztahují k zpracovávané problematice. Jedná se především o představení problematiky tolerančních základů dle normy ISO 5459:2011. Dále byly teoreticky definovány jednotlivé geometrické tolerance dle normy ISO 1101:2017. Jednotlivé geometrické tolerance byly doplněny obrázkovými příklady s komentářem.

Druhá teoretická část byla věnována rozboru RPS dle normy VW 01055:2017. Zde byl vybrán nejdůležitější obsah, který je nutný k pochopení systému referenčních bodů RPS. V souvislosti s touto problematikou bylo nutné představit a blíže specifikovat globální souřadnicový systém vozidla, který je definován normou VW 01052:2010.

Na závěr práce byla provedena aplikace obou metod na připravený model vnitřního dílu dveří automobilu. Z vlastního porovnání lze shrnout několik hlavních poznatků. Systém RPS dle VW 01055 je využíván především u rozměrnějších plechových dílů, které je potřeba pevně ustavit a následně měřit. RPS umožňuje lepší orientaci. Především na výkrese, kde u některých složitějších součástí nemusí být jednoznačně zřejmé, jaký geometrický prvek základna představuje. Naopak z RPS je vždy okamžitě zřejmé, který směr je fixován, a z RPS tabulky lze vždy dohledat přesné rozměry a tolerance prvku. Indexování elementů, namísto kompletního kótování, umožňuje vysokou kompaktnost informací. Nekótované rozměry jsou v praxi přebírány přímo z 3D modelů a dodatečné informace o slícování jsou uváděny v montážních listech.

Použití RPS systému ale nemusí být vždy výhodné. U pohonných jednotek, převodovek, spojek a u ostatních součástí, které vyžadují vyšší ná-

roky na mechanickou funkčnost je předpis geometrických tolerancí, a tudíž i základen, nutný. Pro tyto aplikace je využíván systém geometrických tolerancí a základen dle ISO 1101:2017 a ISO 5459:2011. RPS systém se pro tyto případy vůbec nepoužívá.

Dílčím cílem bakalářské práce bylo zpracování výkresu dílu s využitím normy VW 01055:2017 a ISO norem ISO 5459:2011 a ISO 1101:2017. Analýza byla prováděna na vnitřním dílu dveří automobilu. Na závěr byly vytvořeny výkresy v souladu se zmíněnými normami. Výkresy jsou obsaženy v příloze bakalářské práce.

6 Citovaná literatura

- [1] SLANEC, K. *Konstruování: geometrická přenost výrobků*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN: 80-01-02864.
- [2] *ISO 1101:2017 - Geometrical product specifications (GPS) - Geometrical tolerancing - Tolerances of* [Norma]. Geneva: ISO copyright office, 2017.
- [3] SHIGLEY, J. E. *Konstruování strojních součástí*. 2010. ISBN: 979-80-214-2629-0.
- [4] *ISO 5459:2011 - Geometrical product specifications (GPS) - Geometrical tolerancing - Datums and ...* [Norma]. Geneva: ISO copyright office, 2011.
- [5] PETR, K. SEPS. In: *Přednášky ze strojírenského konstruování II* [online]. Praha: 2017 [cit. 2019-duben-23]. Dostupné z: <http://www.seps.fs.cvut.cz/SK2>
- [6] GIESECKE, F. E. *Technical Drawing with Engineering Graphics*. Pearson New International Edition, 2014. ISBN: 978-12-920-2618-3.
- [7] VOLKSWAGEN AG. *VW 01055:2017 - Reference Point System (RPS)*. [Interní norma]. 2017.
- [8] VOLKSWAGEN AG. *VW 01052:2010 - Zeichnungen, Darstellungen*. [Interní norma]. 2010.
- [9] ŠKODA AUTO A.S. *Podnikové prezentace a školení*. [Prezentace]. Mladá Boleslav: 2019.
- [10] DCS. *Digital GD&T - 3DCS and QDM Solutions Promoting Model Based Definiton*. [Webinář]. 2018.

7 Seznam obrázků

Obrázek 1: Indikátor tolerance [1].....	3
Obrázek 2: Válcové toleranční pole 2D (vlevo) 3D (vpravo) [1]	3
Obrázek 3: Zobrazení tolerančního pole [1].....	3
Obrázek 4: Příklad aplikace základny ve 2D (vlevo) a 3D (vpravo) [1].....	5
Obrázek 5: Příklad aplikace základny ve 2D (vlevo) a 3D (vpravo) [1].....	5
Obrázek 6: Příklad soustavy základen [2]	6
Obrázek 7: Společná základna [1]	6
Obrázek 8: Společná základna ve 2D (vlevo) a ve 3D (vpravo) [1].....	7
Obrázek 9: Příklad tolerance přímosti ve 2D (vlevo) a ve 3D (vpravo) [1]	9
Obrázek 10: Zobrazení tolerančního pole [1]	9
Obrázek 11: Příklad tolerance rovinnosti ve 2D (vlevo) a ve 3D (vpravo) [1]	10
Obrázek 12: Zobrazení tolerančního pole [1]	10
Obrázek 13: Příklad tolerance kruhovitosti ve 2D (vlevo) a ve 3D (vpravo) [1]	10
Obrázek 14: Zobrazení tolerančního pole [1]	11
Obrázek 15: Příklad tolerance válcovitosti ve 2D (vlevo) a ve 3D (vpravo) [1]	11
Obrázek 16: Zobrazení tolerančního pole [1]	12
Obrázek 17: Příklad tolerance profilu libovolné čáry ve 2D (vlevo) a ve 3D (vpravo) [1].....	12
Obrázek 18: Zobrazení tolerančního pole [1]	13
Obrázek 19: Příklad tolerance profilu libovolné plochy ve 2D (vlevo) a ve 3D (vpravo) [1].....	13
Obrázek 20: Zobrazení tolerančního pole [1]	14
Obrázek 21: Příklad tolerance rovnoběžnosti ve 2D (vlevo) a ve 3D (vpravo) [1]	14
Obrázek 22: Zobrazení tolerančního pole (přímka s přímkou) [1].....	15
Obrázek 23: Příklad tolerance rovnoběžnosti (přímka s rovinou) [1].....	15
Obrázek 24: Tolerance rovnoběžnosti (rovina s přímkou) [1]	16
Obrázek 25: Tolerance rovnoběžnosti (rovina s rovinou) [1]	16
Obrázek 26: Příklad tolerance kolmosti [1]	17
Obrázek 27: Příklad tolerance sklonu [1].....	18
Obrázek 28: Tolerance polohy bodu [1].....	19

Obrázek 29: Tolerance polohy osy [1].....	20
Obrázek 30: Tolerance polohy střední roviny [1].....	20
Obrázek 31: Tolerance polohy rovinné plochy [1].....	21
Obrázek 32: Tolerance soustřednosti [1]	22
Obrázek 33: Tolerance souososti [1].....	22
Obrázek 34: Tolerance souměrnosti [1].....	23
Obrázek 35: Tolerance obvodového kruhového házení [1].....	23
Obrázek 36: Tolerance čelního kruhového házení [1].....	24
Obrázek 37: Tolerance kruhového házení v libovolném směru [1].....	24
Obrázek 38: Tolerance kruhového házení v daném směru [1]	25
Obrázek 39: Tolerance celkového obvodového házení [1].....	25
Obrázek 40: Tolerance celkového čelního házení [1].....	26
Obrázek 41: Globální souřadnicový systém automobilu [3]	28
Obrázek 42: RPS označení [3]	29
Obrázek 43: Označení [3]	30
Obrázek 44: Pravidlo 3-2-1 [3]	31
Obrázek 45: Ukázková součást (pootočená o 25° vůči ose y)	32
Obrázek 46: Připravený 3D model	35
Obrázek 47: Výsledek aplikace RPS bodů a LTA otvorů.....	36
Obrázek 48: RPS Tool.....	37
Obrázek 49: Výsledek aplikace pomocí ISO základen	38
Obrázek 50: Ukázka základen s tabulkou [4].....	41

8 Seznam tabulek

Tabulka 1: Příklady doplňkových znaků	7
Tabulka 2: Druhy geometrických tolerancí	8
Tabulka 3: RPS značení	29
Tabulka 4: RPS tabulka	32

9 Seznam příloh

Příloha 1: Výkres vnitřního dílu dveří s využitím systému RPS

Příloha 2: Výkres vnitřního dílu dveří s využitím norem ISO