



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

**Podrobný popis postupu tolerování
převodovky**

**Detailed Description of Transmission
Tolerance Procedure**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Karel BALÁŠ

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: **Baláš** Jméno: **Karel** Osobní číslo: **457608**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající 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:

Podrobný popis postupu tolerování převodovky

Název bakalářské práce anglicky:

Detailed Description of Transmission Tolerance Procedure

Pokyny pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je návrh a rozbor délkových a tvarových tolerancí na zadané dvoustupňové převodovce. Práce bude obsahovat rešerši týkající se tolerování strojních dílů (ISO GPS, délkové tolerance, strukturu povrchu, geometrické tolerance, normy, vztahy mezi tolerancemi,...) a dále soupis pořadavků na tolerování prvků pro umístění kupovaných dílů (ložiska, těsnění, drážkování, pera, ...) Na základě rešerše bude proveden obecný návod jak tolerovat převodovku a následně bude vytvořeno schéma postupu tolerování. Veškeré tyto poznatky budou aplikovány na dvoustupňovou převodovku s popisem důvodů aplikace a vysvětlením. Rozsah grafické části: návrhový výkres dvoustupňové převodovky; výrobní výkresy hřídelů a ozubeného kola.

Seznam doporučené literatury:

- [1] ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008.
- [2] Joseph E. Shigley: Konstruování strojních součástí. 2010. ISBN 978-80-214-2629-0
- [3] FREDERICK E. GIESECKE. Technical Drawing with Engineering Graphics. 2014. ISBN 13: 9781292026183.
- [4] Katalogy výrobců

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:

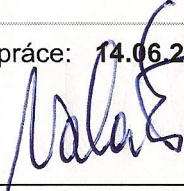
Datum zadání bakalářské práce: **12.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14.06.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


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


prof. Ing. Vojtěch Dynybyl, 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.

20.4.2018

Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Podrobný popis postupu tolerování převodovky“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Karla Petra, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne 11. 6. 2018

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Karlu Petrovi, Ph.D. za cenné rady při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a nejbližším za podporu při tvorbě této práce.

Anotační list

Jméno autora:	Karel BALÁŠ
Název BP:	Podrobný popis postupu tolerování převodovky
Anglický název:	Detailed Description of Transmission Tolerance Procedure
Rok:	2018
Studijní program:	B2342 Teoretický základ strojího inženýrství
Obor studia:	2301R000 Studijní program je bezoborový
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí BP:	Ing. Karel Petr, Ph.D.
Bibliografické údaje:	počet stran 50 počet obrázků 39 počet tabulek 8 počet příloh 7
Klíčová slova:	Tolerance, ISO GPS, rozměrové tolerance, toleranční soustava, geometrické tolerance, struktura povrchu, normalizované díly, převodovka
Keywords:	Tolerance, ISO GPS, dimensional tolerances, tolerance system, geometrical tolerances, surface structure, normalized parts, transmission
Anotace:	Cílem práce je rozbor a návrh délkových a tvarových tolerancí na dvoustupňové převodovce. Práce obsahuje řešerši tolerování strojních dílů a jsou rozebrány jednotlivé druhy tolerancí. Následně je sepsán soupis požadavků na kupované díly a vytvořen schématický postup tolerování. V praktické části jsou tyto poznatky aplikovány na dvoustupňovou převodovku.
Abstrakt:	The aim of the Bachelor's thesis is an analysis and a draft of dimensional and shape tolerances on a two-speed transmission. The thesis includes a research of a machine-components toleration and it deals also with individual types of tolerances. After that, a list of requirements for purchasing components has been written down and also a schematic method of tolerating has been created. The practical part of the thesis deals with the application of the knowledge on a two-speed transmission.

Obsah

1. Úvod	1
2. Rozdělení tolerancí.....	2
2.1. ISO GPS	2
2.1.1. Základní pravidla a principy ISO GPS	5
2.2. Rozměrové tolerance.....	6
2.2.1. Toleranční soustava ISO	8
2.2.2. Uložení.....	10
2.3. Geometrické tolerance.....	11
2.3.1. Základny.....	11
2.3.2. Druhy geometrických tolerancí	12
2.3.3. Způsob zápisu	13
2.3.4. Vazby mezi geometrickými a délkovými tolerancemi.....	14
2.3.5. Nepředepsané geometrické tolerance	14
2.4. Struktura povrchu	14
2.4.1. Zápis struktury povrchu	15
3. Obecný postup tolerování převodovky.....	17
3.1. Ložiska	18
3.1.1. Uložení.....	19
3.1.2. Geometrické tolerance ložisek	20
3.2. Hřídelová těsnění	21
3.2.1. Požadavky na hřídel	22
3.2.2. Požadavky na těleso.....	24
3.3. O–kroužky	25
3.3.1. Uložení o–kroužků	25
3.4. Závity.....	27
3.4.1. Tolerování závitů	28
3.5. Ozubení	29
3.5.1. Tolerance ozubení.....	29
3.6. Kuželové spojení	30
3.6.1. Tolerování kuželového spoje.....	30
3.7. Těsné pero	31
3.7.1. Tolerování těsného pera	31
3.8. Drážkování.....	32
3.8.1. Tolerování rovnobokého drážkování	32
3.9. Lisování.....	34
3.9.1. Tolerování lisování.....	34
4. Aplikace tolerancí na převodovku	36
4.1. Uložení ložisek	38
4.1.1. Uložení s jedním pevným a druhým volným ložiskem	38

4.1.2. Uložení za vnější kroužky.....	39
4.2. Uložení hřídelových kroužků	40
4.3. Uložení řemenice na kuželovém spoji.....	41
4.4. Uložení drážkování	42
4.5. Uložení lisování.....	42
4.6. Uložení víček ložisek	43
4.7. Uložení spojky	44
5. Závěr.....	45
Seznam použité literatury	46
Seznam obrázků	48
Seznam tabulek	49
Seznam příloh.....	50

1. Úvod

V každém odvětví strojírenské výroby je důležité tolerování různých částí součástí. Důvody jsou prosté. Výrobci, aby uspěli na trhu, potřebují vyrábět kvalitní výrobky a kvalita jednotlivých výrobků jde ruku v ruce s kvalitou výroby.

Kvalitní a přesná výroba je základní nutností každého výrobce a lze ji docílit vhodně zvolenými tolerancemi. Dříve se používalo výběrové rozdělení výsledných výrobků bez použití tolerancí, avšak při tomto stylu výroby se vyrábělo mnoho nepřesných součástí („zmetků“). Použitím tolerancí se zkvalitnila výroba, díky tomu se výsledný počet nepřesně vyrobených součástí zmenšil na minimum.

Další důležitou podmínkou kvalitní výroby je výroba rozměrově stejných výrobků. Je to logická podmínka výroby, protože je potřeba zaručit jednoduchou zaměnitelnost dílů (šrouby, matice, těsná pera, ložiska apod.). Rozměry těchto dílů jsou obvykle dány ISO normou. ISO norma se používá pro sjednocení rozměrů dílů v různých zemích. Výrobci jsou povinni tuto normu dodržovat, pokud se k tomu zavážou.

Důležitým hlediskem při výrobě je i jednoduchá montáž. I v těchto případech jsou důležité tolerance. Při montáži potřebujeme, aby byla co nejrychlejší, a to jde docílit především tím, že součásti budou vyrobeny ve správném rozměru a nebudou se muset před samotnou montáží upravovat.

Tato bakalářská práce je zaměřena na rozbor použitých tolerancí v převodovkách, pochopení použitých tolerancí a způsobů tolerování dílů převodovky a následné aplikování poznatků na vybrané převodovce.

Převodovky jsou složeny z mnoha dílů: ozubená kola, hřídele, ložiska, těsná pera, pojistné kroužky („ségrovky“), hřídelová těsnění („gufera“), těsnění, šrouby, matice, podložky atd. Výrobce převodovek si všechny použité díly v převodovce z ekonomických důvodů většinou nevyrábí, mnohé díly si nakupuje od jiných výrobců, kteří se specializují na výrobu konkrétních součástí (šrouby, ložiska, těsnění apod.). Aby tyto díly do sebe pasovaly a správně vykonávaly svoji funkci, je velice důležité správně zvolit tolerance. Ložiska nesmí být uložena na hřídeli s vůlí, jinak by došlo k nadměrným vibracím, těsné pero musí být správně uloženo pro zajištění přenosu kroutícího momentu, těsnění musí být uložena s přesahem, aby správně těsnila, drážkování musí být správně vyrobeno a správně namazáno pro svou funkci apod. Nesmí se zapomínat ani na drsnost povrchu, která je velice důležitá pro spolehlivou funkci a životnost výrobku.

2. Rozdělení tolerancí

Tolerance se rozdělují na tři základní typy. První je tolerance funkčních vlastností, která se zabývá, jak už název napovídá, funkčností součástí. Příkladem funkční tolerance je uložení. Druhým typem tolerance je tolerance geometrických vlastností. Tato tolerance se ještě rozděluje na tolerance rozměru, tvaru, polohy a drsnosti. Posledním typem je tolerance materiálových vlastností, která se zabývá především složením, chemickými vlastnostmi a fyzikálními vlastnostmi materiálů (tvrdost, pevnost, elektrická vodivost). Tato bakalářská práce se bude zabývat geometrickými a rozměrovými tolerancemi. [1]

2.1. ISO GPS

Zkratka ISO GPS se skládá ze dvou částí. První část „ISO“ je zkratka pro mezinárodní organizaci zabývající se normalizací ve všech odvětvích (www.iso.org). Druhá část „GPS“ je z anglického slova *Geometrical product specification*, což se obvykle překládá jako *Geometrické požadavky na výrobky*. Volným překladem se zkratka ISO GPS dá přeložit jako mezinárodní geometrické požadavky na výrobky. [1]

Problematikou ISO GPS se zabývá technická komise ISO TC 213. Tato technická komise obsahuje údaje o rozměrových i geometrických požadavcích na výrobky a jejich ověřování. Pojem *geometrické požadavky na výrobky a jejich ověřování* představuje souhrn norem potřebných k popisu výrobku s tím důsledkem, že jednotlivé díly a podskupiny sestav mohou být vyrobeny kdekoliv a poté sestaveny nezávisle na tom, kde byly vyrobeny a vyzkoušeny. [2]

Technická komise ISO TC 213 se dá představit jako velký seznam norem, které se zaměřují na jednotlivé problematiky v dané oblasti. Tato komise je velice důležitá ve všech odvětvích. Díky stále silnější konkurenci začíná mnoho firem přijímat řízení kvality a zvyšování nároků na provoz pomocí normy dle řady EN ISO 9000. Ve strojírenství se tyto normy spojují se zadáváním, tolerováním a zkoušením rozměrů, tvarů, poloh, vlnitosti a struktury povrchu. Bez této normy, která upravuje kvalitu výrobků, by nebylo možné dosáhnout kvalitu dle řady EN ISO 9000. [2][3]

Důležitou normou z ISO TC 213 je norma EN ISO 14638:2015(1995) v poslední verzi z roku 2015. Tato norma ukazuje matici ISO GPS, která rozděluje ISO GPS do 3 skupin. V dřívějším vydání (1995) byla matice tvořena ze 4 skupin. V roce 2015 proběhla úprava, která sloučila skupiny *Globální normy ISO GPS* a *Všeobecné normy ISO GPS* do jedné skupiny *Všeobecné normy ISO GPS*. V těchto skupinách funguje princip hierarchie, tzn. princip

uvedený ve vyšší úrovni (skupině) platí i v nižších úrovních (skupinách), není-li uvedeno jinak. [2]

Hlavní skupiny (úrovně) GPS norem: [1][2]

➔ **Základní normy ISO GPS** – Stanovují základní pravidla, postupy kótování a tolerování výrobků, základní symboly a značky ve výkresové dokumentaci a dělají technické dokumentace mezinárodně srozumitelné.

Důležité normy v této oblasti:

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

➔ **Všeobecné normy GPS** – Hlavní skupina norem ISO GPS, která stanovuje pravidla zapisování požadavků ve výkresových dokumentacích, definice a měřící principy měření pro různé typy geometrických charakteristik a popisují zkušební zařízení.

Důležité normy v této oblasti:

- ISO 1101:2017 – Geometrické tolerance – tolerance tvaru, orientace, umístění a házení
- ISO 286-1:2010 – Kódový systém ISO pro tolerance lineárních rozměrů – část 1: východiska tolerancí, odchylek a tvarů
- ISO 1302:2002 – Označení povrchové struktury v technické dokumentaci výrobku

➔ **Doplňkové normy GPS** – stanovují doplňující pravidla zapisování požadavků na výkresech, definice a principy měření pro určité vybrané kategorie prvků. Tato pravidla závisí na druhu výrobního procesu, případně na druhu strojního prvku.

Důležité normy v této oblasti:

- ISO 8062-2:2013 – Rozměrové a geometrické tolerance pro tvarované díly – část 2: pravidla a symboly

Maticový model norem dle ISO 14638:2015 se také v roce 2015 pozměnil. V původním vydání předepisovala norma 18 geometrických charakteristik prvku, které charakterizovaly jednotlivé tolerance pro různé případy použití zvlášť. V novém vydání normy z roku 2015 bylo vytvořilo 9 kategorií geometrických vlastností, které seskupují určité charakteristiky prvku do logických kategorií. Také se v normě změnil články řetězce z 6 na 7 článků. Jeden článek řetězce jsou všechny vzájemně závislé normy, které se týkají stejných geometrických vlastností. Každá norma z ISO TC 213 je dílem článku řetězce a ovlivňuje jiné normy, tzn. ke konkrétnímu použití jedné normy je

nutná znalost i ostatních norem v příslušném článku řetězce. Postup článků řetězce přibližně odpovídá vývojové fázi výrobku a značí se A – G. [2]

Maticový model dle ISO 14638:2015 je zobrazen v tab. 2.1.

Tab. 2.1 Maticový model ISO GPS dle ISO 14638:2015 [2]

ISO 14638:2015 Standart matrix model	Články řetězce						
	A	B	C	D	E	F	G
	Symbole a označení	Požadavky prvků	Vlastnosti prvků	Shoda a neshoda	Měření	Měřící zařízení	Kalibrace
Rozměr							
Vzdálenost							
Tvar							
Orientace							
Umístění							
Obvodové házení							
Profil textury povrchu							
Plošná textura povrchu							
Nedokonalosti povrchu							

Jednotlivé články řetězce: [2]

- A – Symboly a označení:** Požadavky na zapisování vlastností na výrobku a výkrese – tvar a vlastnosti symbol, označování a modifikace symbolů a pravidla jejich užití.
- B – Požadavky prvků:** Požadavky na tolerování (toleranční pole, parametry, toleranční vlastnosti), vlastnosti výrobku (vlastnosti rozměrů, parametry textury povrchu, geometrické charakteristiky).
- C – Vlastnosti prvků:** Požadavky na skutečný tvar prvku – reálné vlastnosti obrobku.
- D – Shoda a neshoda:** Požadavky pro porovnání mezi výsledkem měření výrobku a požadovanou specifikací.
- E – Měření:** Požadavky na měření vlastností a charakteristik výrobku.
- F – Měřící zařízení:** Požadavky na měřící zařízení (měřidla).
- G – Kalibrace:** Požadavky na kalibrační zkoušky pro měřící zařízení a měřidla.

2.1.1. Základní pravidla a principy ISO GPS

Všechny normy v ISO TC 213 mají povinnost splňovat podmínku, aby zapadaly do struktury maticového modelu ISO GPS (tab. 2.1) a tím se jednoznačně zapojily mezi ostatní normy. Tato podmínka je ještě důležitější pro nové normy, které se chtějí do tohoto maticového modelu přiřadit. Proto norma ISO 8015:2011 vytyčuje základní pravidla pro normy, aby následně zapadaly do maticového modelu. [2]

Z normy ISO 8015:2011 jsou důležité 3 základní pravidla: [1][2]

- **Pravidlo jednoznačnosti** – Každý řetězec norem musí obsahovat nutné definice a pravidla, aby byla zajištěna jednoznačnost mezi údaji na výkrese a vyrobeným výrobkem.
- **Pravidlo úplnosti** – Všeobecná matice GPS musí obsahovat různé možnosti předpisu požadovaných vlastností do technické dokumentace.
- **Pravidlo doplnitelnosti** – Jednotlivé řetězce norem se musí vzájemně doplňovat – zaručení žádných rozporů mezi různými požadavky.

Norma ISO 8015:2011 také vytyčuje základní principy pro způsob zápisu požadovaných geometrických vlastností do výkresové dokumentace a jejich následné ověření.

Výběr základních principů dle ISO 8015:2011: [2]

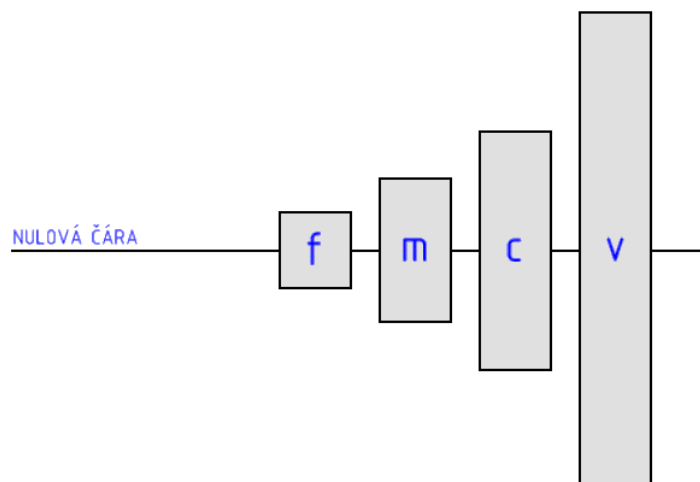
- **Realizace principů** – Nejběžnější realizace požadavku GPS, je-li část systému ISO GPS uvedena v dokumentaci, je uplatněn celý systém ISO GPS.
- **Princip hierarchie** – Pravidla uvedená ve vyšších úrovních norem platí i v nižších úrovních, není-li uvedeno jinak.
- **Princip konečného výkresu** – Výkres je konečný, všechny specifikace musí být uvedeny na výkresové dokumentaci s použitím symbolů GPS. Nespecifikované požadavky ve výkresové dokumentaci nemohou být uplatněny.
- **Princip prvku** – Obrobek se považuje za výrobek vytvořený určitým počtem prvků omezených přirozenými hranicemi. Každá specifikace GPS se vztahuje na daný prvek, nebo na vztah mezi prvky.
- **Princip nezávislosti** – GPS specifikace vztažená na prvek nebo vztah mezi prvky musí být splněna nezávisle na jiných specifikacích. Tento princip obsahuje i výjimky: princip maxima materiálu, princip minima materiálu, společné toleranční pole, požadavek obálky atd.

- **Desetinný princip** – Nezapsané desetinné jmenovité hodnoty a hodnoty tolerance jsou nuly. ($10 = 10,00000\dots$).
- **Výchozí princip** – Výchozí GPS specifikace je možné měnit na výkrese použitím specifických výchozích GPS operátorů, nebo podnikovými GPS operátory.
- **Princip odpovědnosti** – Pokud není uvedeno jinak, za nejistotu měření odpovídá strana, která poskytuje důkaz shody nebo neshody se specifikací – ISO 14253-1:2017.

Z výše uvedených pravidel a principů vyplývá, že norma ISO 8015:2011 ovlivňuje použití geometrických tolerancí ve výkresové dokumentaci, ale i ovlivňuje ostatní normy v maticovém modelu ISO GPS (tab. 2.1). Proto norma ISO 8015:2011 je považována za základní normu. [2]

2.2. Rozměrové tolerance

Rozměrové tolerance jsou důležitou vlastností každé součásti. Každý rozměr na součásti má předepsané tolerance, i když není tolerovaný pomocí tolerančního pole, případně mezními úchytkami. Všechny rozměry na součásti nemusí být nutně důležité z hlediska funkčnosti součásti, a proto nemusí být tolerovány pomocí tolerancí. K těmto účelům byly zavedeny všeobecné tolerance. Všeobecné tolerance platí vždy, pokud nejsou vyšší tolerancí zrušeny (toleranční soustava, mezní úchytky, mezní rozměry).



Obr. 2.1 Porovnání tolerančních polí pro všeobecné tolerance

První velkou skupinou ze všeobecných tolerancí jsou obrobené rozměry. Na ty se vztahuje norma ISO 2768. Norma předepisuje 3 třídy přesnosti pro geometrické tolerance (H, K, L), kdy *H* je nejpřesnější a *L* nejméně přesná, a 4 třídy pro délkové a úhlové rozměry (f, m, c, v), kdy *f* je nejpřesnější a *v* velmi hrubá. Nejpoužívanější volba všeobecné tolerance pro zápis na výkresové

dokumentaci je *ISO 2768-mK*. Na obr. 2.1 je zobrazeno grafické porovnání velikosti tolerančních polí pro délkové a úhlové rozměry. Zajímavým faktem je, že toleranční pole *m* přibližně odpovídá toleranční třídě *js14*. [4][7]

Další velká skupina výrobků jsou součásti vyráběné ve formách. Ty se obvykle skládají z rozměrů obráběných a rozměrů neobráběných. Obráběné rozměry se řídí výše uvedenou normou (*ISO 2768*) a neobráběné normou *ISO 8062-3*. Zápis této normy pro součásti vyráběné ve formách ve výkresové dokumentaci je: *ISO 8062-3 – DCTG xxx– RMA 6 (yyy) – GCTG zzz*, kdy *xxx* je toleranční stupeň odlitku (1–16), *yyy* jsou úrovně přídavek na obrábění (A–K) a *zzz* je stupeň geometrické tolerance (2–8). [7]

Následující skupinou jsou svařované součásti, pro které platí norma *ISO 13920*, kdy zápis ve výkresové dokumentaci je: *ISO 13920 – xxxyyy*, kdy *xxx* je přesnost délkových rozměrů (A–D) a *yyy* jsou geometrické tolerance (E–H). [7]

Další neméně důležitou skupinou výrobků jsou výrobky tepelně dělené, na které se vztahuje norma *ISO 9013*. V této normě se především řeší stav povrchu po dělení z hlediska jakosti řezu. Zápis této normy ve výkresové dokumentaci je: *ISO 9013 – xxxyyyzzz*. Parametr *xxx* udává toleranční pole pro deformaci ve sledovaném směru a *yyy* udává toleranční pole pro průměrnou nejvyšší výšku profilů *Rz5* změřenou na pěti vyhodnocovacích délkách. Spojení *xyyy* udává požadovanou jakost řezu. Parametr *zzz* udává, jaká je použita toleranční třída pro mezní úchyly jmenovitých rozměrů (1–2). [2][4]

Poslední skupinou jsou plastové vstřikované díly. Pro tuto skupinu je platná norma *DIN 16742*. Zápis této normy ve výkresové dokumentaci je: *DIN 16742 – TGxxx*, kdy parametr *xxx* udává číslo toleranční skupiny (1–8). [2][3][4]

Tab. 2.2 Modifikátory specifikace lineárních rozměrů [5]

(LP)	Rozměr mezi dvěma body	(CV)	Průměr z objemu (vypočítaný rozměr)
(LS)	Místní rozměry vymezený koulí	(SX)	Maximální rozměr
(GG)	Kritérium přiřazený nejmenším čtvercům	(SN)	Minimální rozměr
(GX)	Kritérium přiřazený maximálnímu vepsání	(SA)	Průměrný rozměr
(GN)	Kritérium přiřazený maximálního opsání	(SM)	Střední rozměr
(CC)	Průměr z obvodu (vypočítaný rozměr)	(SD)	Střední rozsah rozměrů
(CA)	Průměr z plochy (vypočítaný rozměr)	(SR)	Rozsah rozměrů

Důležitým aspektem v rozměrových tolerancích je i správné změření výsledného rozměru. Z tohoto důvodu byla vytvořena norma *ISO 14405:2016(2010)*, kde byly zavedeny tzv. modifikátory specifikace, které určují způsob měření rozměru součásti. Základním typem měření je měření mezi dvěma body. Pokud je toto měření aplikováno na celé součásti, nemusí se tento typ měření uvádět v blízkosti popisového pole. Pokud však je použit jiný typ měření, musí se tento typ měření prostřednictvím modifikátoru

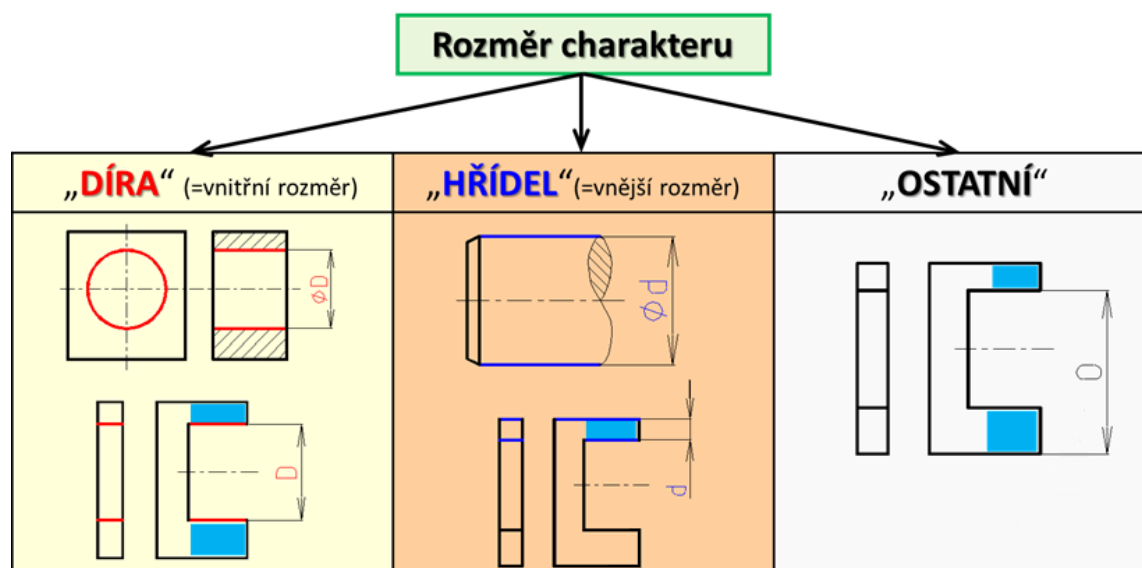
specifikace označit v blízkosti popisového pole tímto způsobem: Rozměr ISO 14405 xxx. Kritérium xxx vyjadřuje typ použitého měření znázorněné graficky pomocí modifikátoru specifikace. Je možné použití i více modifikátorů (více druhů měření) na jedné součásti. Příklady modifikátorů specifikace jsou uvedeny v tab. 2.2 a v tab. 2.3 jsou všeobecné modifikátory specifikace. [5]

Tab. 2.3 Všeobecné modifikátory specifikace [5]

Popis	Značka	Příklad indikace
Požadavek obálky	Ⓔ	10±0,1 Ⓔ
Libovolné označení části prvku	/délka	10±0,1 ⒸⒸ/15
Libovolný průřez	ACS	10±0,1 ⒸX/ACS
Specifický pevný průřez	SCS	10±0,1 ⒸX/SCS
Víc jak jeden prvek	číslo x	2 x10±0,1 Ⓔ
Společná tolerance	CT	10±0,1 Ⓔ CT
Podmínka volného stavu	Ⓕ	10±0,1 Ⓕ ⒼⒶ Ⓕ
Mezi	↔	10±0,1 A↔B

2.2.1. Toleranční soustava ISO

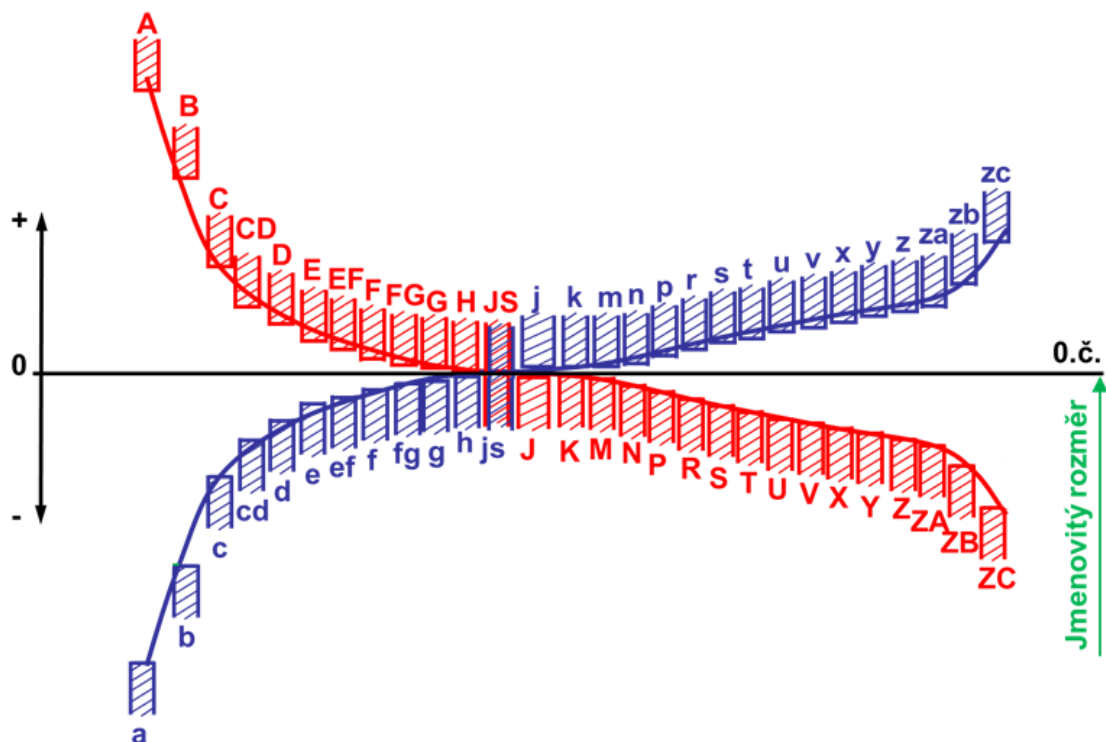
Tolerance rozměrů se dělí na tři základní druhy rozměrů: díry, hřídele a ostatní. Rozměr „díra“ znamená, že kótovaný rozměr je charakteru díry. Oproti tomu rozměr „hřídel“ značí, že kótovaný rozměr je charakteru hřídele (válce). Rozměr „ostatní“ vyjadřuje, že kótovaný rozměr není ani jedním z výše uvedených rozměrů. Příkladem takového rozměru může být rozměr roztečné vzdálenosti mezi dírami ve výkresové dokumentaci. Grafické porovnání tří základních druhů rozměrů je zobrazeno na obr. 2.2. [5]



Obr. 2.2 Grafické znázornění 3 základních druhů rozměrů [5] – upraveno

Pro zjednodušený a rychlý zápis tolerancí byly normou ISO 286–1:2010(1988) vytvořeny toleranční stupně (stupně přesnosti) IT. Ty udávají podle tolerovaného rozměru a stupně IT (01–18) rozsah tolerančního pole obvykle udávaného v mikrometrech (μm), pro vyšší stupně IT se může udávat i v milimetrech (mm). Stupně 01 až 6 se používají pro výrobu měřidel a kalibrů, stupně 5 až 11 v přesném všeobecném strojírenství a 12 až 18 při výrobě polotovarů. [5][6]

Další důležité zjednodušení zápisu tolerancí přinesla norma ISO 286–2:2010(1988). Tato norma vytvořila tabulky mezních úchylek pro intervaly rozměrů a poloh tolerančního pole. Tato tabulka se ještě rozdělila pro rozměry typu „díry“ a „hřídele“. Pro rozměr typu „díry“ se používají velká písmena abecedy (A – ZC) a pro rozměr typu „hřídele“ malá písmena (a – zc). Zajímavým faktem je, že toleranční pole H i h začínají vždy na nulové čáře (tzn. vždy jedna úchylka je 0). Další zajímavostí je, že polohy tolerančních polí JS a js jsou pro stejné rozměry identické. Grafické znázornění tolerančních polí vůči nulové čáře je zobrazen na obr. 2.3. [5][6]



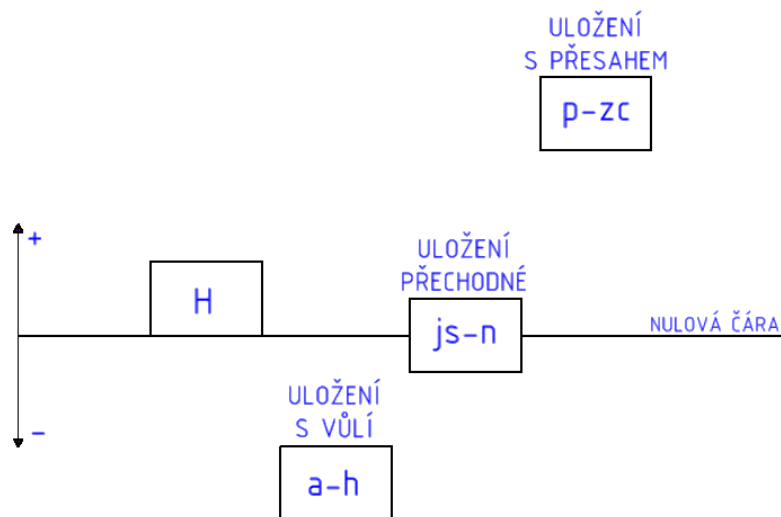
Obr. 2.3 Schématické zobrazení poloh tolerančních polí [5] – upraveno

Ve výkresové dokumentaci se poloha tolerančního pole a stupeň přesnosti značí podle následujícího příkladu: $\varnothing 25 H9$, kde číslice 25 označuje jmenovitý rozměr, velké písmeno H označuje polohu tolerančního pole pro díry a číslice 9 udává stupeň přesnosti IT 9. Občas se spojení polohy tolerančního pole a stupně přesnosti ($H9$) označuje jako toleranční třída. [5][7]

2.2.2. Uložení

Pro funkční spojení dvou součástí (obvykle spoj typu hřídel – náboj, ložisko – hřídel/náboj, hřídelové těsnění – víčko, drážkování atd.) se využívá spojení pomocí uložení. Uložení je typ spojení dvou součástí, při kterém jsou obě součásti vyrobeny v různých tolerančních třídách a jejich vzájemná poloha určuje o jaký typ uložení se jedná. Jsou tři základní typy uložení: s vůlí, s přesahem a přechodné. [1][5]

První velké rozdělení uložení je dle typu soustavy. Jsou dvě nejběžnější typy soustav, a to soustava jednotné díry a soustava jednotného hřídele. Soustava jednotné díry znamená, že díra je vyrobena v tolerančním H a hřídel je vyrobena dle potřebného uložení. Oproti tomu soustava jednotného hřídele znamená, že hřídel je vyrobena v tolerančním poli h a díra je vyrobena dle potřebného uložení. Častěji používána soustava je soustava jednotné díry, kdy asi 90 % všech uložení ve strojírenství je takto vyrobena. Z ekonomických důvodů je levnější nakoupit nástroje (vrtáky, frézky, brusné kotouče atd.) pro jedno toleranční pole H na výrobu děr. [1][5]



Obr. 2.4 Grafické znázornění případů uložení v soustavě jednotné díry

Prvním typem uložení je uložení s vůlí. Toto uložení je specifické tím, že mezi hřídelem a nábojem je vždy vůle. Může však vzniknout i „nulová vůle“, a to v případě, bude-li použita tolerance H/h . Uložení s vůlí se používá tam, kde je potřeba vůle z důvodu funkce. To se například využívá u přesného vedení strojů, u vodících pouzder, přesného uložení hřídelů, uložení čepů atd. V soustavě jednotné díry uložení s vůlí představují toleranční pole $a-h$, v soustavě jednotného hřídele $A-H$. Nejběžnější příklad uložení s vůlí ve strojírenství je $H7/f7$. [1][5][6]

Dalším typem uložení je uložení s přesahem, pro které je typické, že pro spojení dvou součástí je nutné nalisování, a to buďto za studena pomocí lisovací síly vyvolané např. lisem, nebo za tepla ohřátím náboje na danou

teplotu a „volného nasunutí“ náboje na hřídel. U lisování za tepla pojem „volné nasunutí“ znamená, že při zvýšené teplotě se náboj vlivem ohřátí roztáhne a je možné ho nasunout bez zvýšené síly na hřídel. Po vychladnutí tohoto spoje se mezi hřídelí a nábojem vytvoří žádané uložení s přesahem. Uložení s přesahem se využívá ve velké míře při přenosu kroutícího momentu pomocí lisování a pro trvalé spojení náboje a hřídele. V soustavě jednotné díry se jedná o toleranční pole $p-zc$ a v soustavě jednotného hřídele $P-ZC$. [1][5][6]

Posledním typem uložení je uložení přechodné. Toto uložení se vyznačuje tím, že při skládání součástí může vzniknout vůle nebo přesah dle konkrétních úchylek obou součástí, avšak vzniklá vůle nedovoluje velký pohyb součástí. Proto při montáži je potřeba vyvinout větší sílu pro spojení například použitím kladiva nebo různých montážních přípravků. Tento typ uložení se využívá u uložení ložisek, uložení těsných per i pro uložení nábojů na hřídelích. V soustavě jednotné díry tento typ uložení reprezentují toleranční pole $js-n$, v soustavě jednotného hřídele $JS-N$. [1][5][6]

Grafické znázornění jmenovaných druhů uložení v soustavě jednotné díry je vyobrazeno na obr. 2.4 i s příklady tolerančních polí pro tuto soustavu.

2.3. Geometrické tolerance

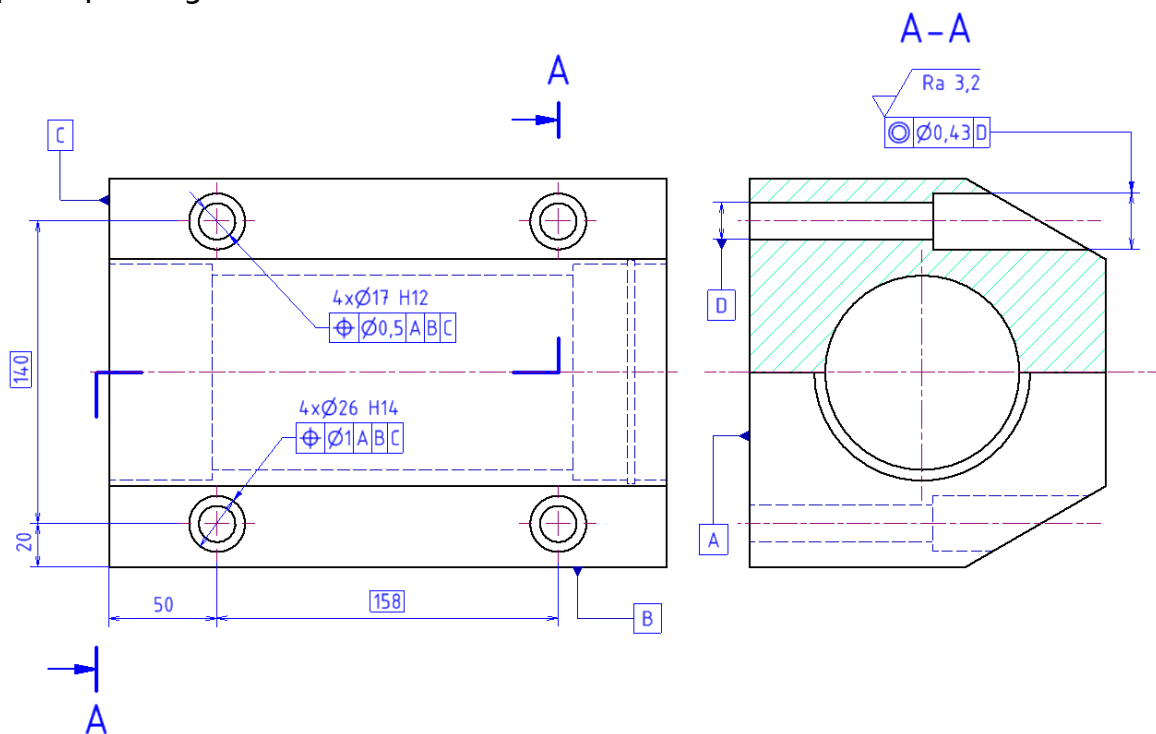
Geometrické tolerance je soubor tolerancí, které se používají pro specifikování ploch, čar a os výrobku z hlediska rovnoběžnosti, kolmosti, tvaru plochy, polohy děr a polohy os atd. Tyto tolerance se využívají pro zkvalitnění výroby výsledných výrobků z důvodu rychlejší montáže, klidnějšího chodu, delší životnosti součástek a zaručení správné funkce apod. U geometrických tolerancí se především řeší toleranční pole a jeho poloha na skutečné součásti. Toleranční pole je prostor, který je vytyčen jednou nebo více geometricky dokonalými čarami a je charakterizován tolerancí zapsanou u požadované geometrické tolerance. Toleranční pole může být tvořeno kruhem, válcem, mezikružím, prostorem mezi sousými válci, prostorem mezi rovnoběžnými přímkami, prostorem mezi rovnoběžnými plochami a koulí. [5][6][8]

2.3.1. Základny

Každá geometrická tolerance se vztahuje na určitý prvek (také nazývaný „*geometrické prvek, situační prvek*“). Tento prvek může být bod, čára (přímka) případně plocha. Geometrické tolerance se dost často vztahují k určité základně, která předepisuje způsob vyhodnocování tolerance. Pokud základna navazuje na kótovací čáru od kruhového tvaru součásti, případně na středící důlek, skutečná základna je střední čára, průměr nebo bod kruhového tvaru součásti (osa součásti). Naopak, pokud je základna spojena s rovinnou plochou, skutečná základna je rovina. Pro pochopení použité tolerance je

nutné znát význam základen, protože je podstatné, zda základna navazuje na kótu či nikoliv. Princip základen se dá ukázat na příkladu měření. Pokud je základna umístěna na kruhovém tvaru proti kótě, pak součást je upnuta do měřicího stroje za předepsaný kruhový tvar a je měřen jiný kruhový (kuželový) tvar. Pokud je základna na rovinné ploše, součást je „opřena“ za tuto plochu na pracovním stole a je měřena jiná rovina. [1][5][7]

Příklad spojení základny s prvkem kruhového tvaru i s rovinnou plochou je uveden na obr. 2.5 domku ložisek, kdy A, B, C, D jsou základny pro předepsané geometrické tolerance.



Obr. 2.5 Umístění základen pro kruhové tvary i pro rovinné plochy

2.3.2. Druhy geometrických tolerancí

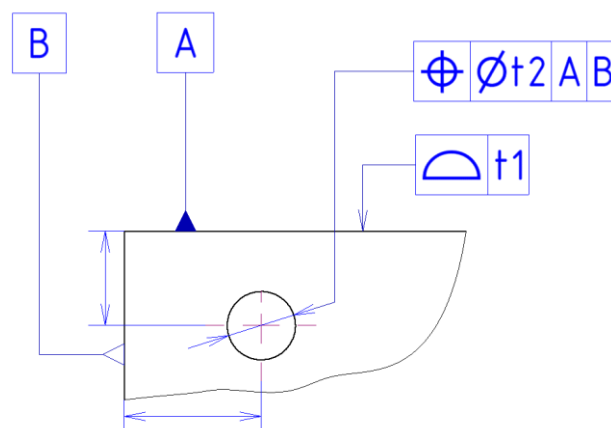
Geometrických tolerancí je celkem 14 typů, přičemž se dále rozdělují do 4 skupin. První skupina jsou geometrické tolerance tvaru, kam se zařazují tolerance přímosti, rovinnosti, kruhovitosti, válcovitosti, libovolného tvaru profilu a libovolného tvaru plochy. Druhá skupina jsou tolerance směru, do které patří tolerance rovnoběžnosti, kolmosti a sklonu. Předposlední skupinou tolerancí jsou tolerance polohy. Tam patří tolerance umístění, soustřednosti a souososti a tolerance souměrnosti. Poslední skupinou jsou tolerance házení, kam se řadí tolerance házení a celkového (totálního) házení. Ke každé geometrické toleranci je přiřazeno grafické označení značkou pro snadný zápis ve výkresové dokumentaci. V tab. 2.4 jsou zobrazeny typy tolerancí rozdělených do skupin s grafickým označením dle ISO. [1][8]

Tab. 2.4 Typy geometrických tolerancí s grafickou značkou [8]

Skupina	Tolerance	Značka
Tvar	Přímmost	—
	Rovinnost	
	Kruhovitost	
	Válcovitost	
	Tvar profilu	
	Tvar plochy	
Směr	Rovnoběžnost	//
	Kolmost	
	Sklon	
Poloha	Umístění	
	Soustřednost a souosost	
	Souměrnost	
Házení	Kruhové házení	
	Celkové házení	

2.3.3. Způsob zápisu

Zápis geometrické tolerance v technické dokumentaci se provádí tak, že pomocí šipky s tolerančním rámečkem se ukáže na plochu nebo křivku, kterou chceme tolerovat. Do rámečku vyplníme údaje, jako je požadovaná tolerance znázorněná graficky, hodnota tolerance v *mm* a případné použité základny. To, jestli má základna vybarvený trojúhelník či nikoliv, nemá žádný význam. Příklad způsobu zápisu je uvedena na obr. 2.6. [5][7]



Obr. 2.6 Způsob zápisu geometrických tolerancí ve výkresové dokumentaci

2.3.4. Vazby mezi geometrickými a délkovými tolerancemi

V kapitole 2.1.1 byl zmíněn jeden ze základních principů ISO GPS dle ISO 8015:2011 a to *Princip nezávislosti*. Tento princip uvádí, že předepsaná geometrická tolerance musí být dosažena nezávisle na jiných specifikacích. Tento princip však obsahuje i výjimky, při kterých je potřeba z funkčního hlediska tento princip porušit. Příklady těchto výjimek jsou uvedeny v tab. 2.5. [1][2][7]

Tab. 2.5 Výjimky v Principu nezávislosti [1]

Ⓔ	Požadavek obálky
Ⓜ	Požadavek maxima materiálu
Ⓛ	Požadavek minima materiálu
Ⓟ	Požadavek prodlouženého tolerančního pole
ⓕ	Měřeno v nezatíženém stavu (poddajná součást)
Ⓡ	Požadavek reciprocity

2.3.5. Nepředepsané geometrické tolerance

Pokud ve výkresové dokumentaci nejsou předepsány geometrické tolerance, řídí se výsledné tolerance normou ISO 2768. Tato norma obsahuje tři třídy přesnosti pro nepředepsané geometrické tolerance H , K a L , kdy H je nejpřesnější a L nejméně přesná. Tato norma předepisuje tolerance pro přímost, rovinnost, kruhovitost, rovnoběžnost, kolmost, souměrnost a pro kruhové házení. Pro všechny uvedené tolerance jsou vytvořeny tabulky s dovolenými hodnotami pro dané třídy přesnosti a pro daný rozměr. [1][6][7]

2.4. Struktura povrchu

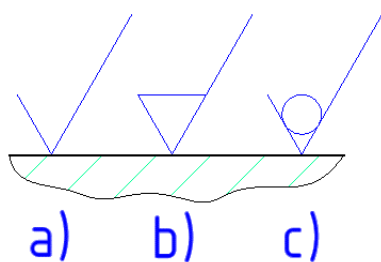
Profil povrchu se sleduje ze 3 různých hledisek. První hledisko je *Profil drsnosti*, který se označuje pomocí písmena R . Druhé hledisko profilu povrchu je *Profil vlnitosti*, který se označuje písmene W . Posledním hlediskem profilu povrchu je *Základní profil*, který je součet profilu drsnosti a profilu vlnitosti a značí se písmenem P . Vyhodnocování stavu povrchu se provádí pomocí profiloměrů, drsnoměrů a dalších speciálních měřících zařízení. Profil povrchu se vyhodnocuje pomocí pěti parametrů: výškový, výškový amplitudový, délkový, tvarový a křivkový parametr. U výškových parametrů se vyhodnocuje největší výška výstupku (P_p , R_p , W_p), největší hloubka prohlubně (P_v , R_v , W_v) a maximální výška (P_z , R_z , W_z). U výškových parametrů amplitudových se vyhodnocuje průměrná výška (P_c , R_c , W_c), průměrná aritmetická výška (P_a , R_a , W_a), průměrná kvadratická výška (P_q , R_q , W_q), šikmost profilu (P_{sk} , R_{sk} , W_{sk}) a špičatost profilu (P_{ku} , R_{ku} , W_{ku}). U parametrů délkových se vyhodnocuje průměrná šířka profilu (P_{Sm} , R_{Sm} , W_{Sm}). U tvarových parametrů se

vyhodnocuje průměrný kvadratický sklon ($P\Delta q$, $R\Delta q$, $W\Delta q$). U křivkových parametrů se vyhodnocuje materiálový podíl profilu (Pmr , Rmr , Wmr). Nejvíce využívané vyhodnocení povrchu je pomocí profilu drsnosti R a to hlavně průměrná aritmetická výška profilu Ra a největší výška profilu Rz . [1][5]

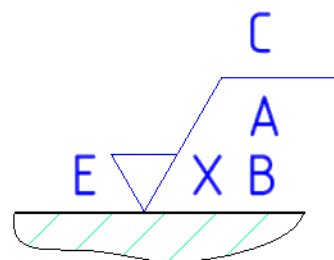
Vyhodnocování profilu se provádí u profilu drsnosti standardně na pěti vyhodnocovacích délkách, u základního profilu na celé délce prvku a u profilu vlnitosti to zatím není normou stanoveno. Dále pro vyhodnocování stavu povrchu se využívají dvě pravidla: *Pravidlo 16 %* a *Pravidlo max*. *Pravidlo 16 %* stanovuje, že 1 ze 6 měření nemusí vyhovět předepsané mezi dané značkou. Toto pravidlo platí vždy, pokud není jiným pravidlem vyrušeno. Naopak *Pravidlo max* stanovuje, že každé měření musí vyhovět předepsané mezi. Toto pravidlo je obvykle zapsané přímo ve značce struktury povrchu (např. $Rzmax\ 0,4$). [5][7]

2.4.1. Zápis struktury povrchu

Struktura povrchu může být dosažena různými technologiemi výroby. Avšak některé plochy nemusí být důležité z funkčního hlediska případně nemusí být obráběny po předchozí operaci (kování, lisování, odlití). Tyto skutečnosti lze zapsat pomocí značky povrchu, jak je naznačeno na obr. 2.7. Na obr. 2.7 a) je znázorněna značka povrchu pro povrchy, kde nezáleží, jestli byla dosažena předepsaná struktura povrchu obráběním, či nikoliv. Naopak na obr. 2.7 b) je znázorněna značka, kde je předepsáno, že stav povrchu je dosažen pomocí obrábění. V poslední části obr. 2.7 c) je vyobrazena značka, která předepisuje, že povrch nesmí být nesmí obroben. [1][5][7]



Obr. 2.7 Značky stavu povrchu

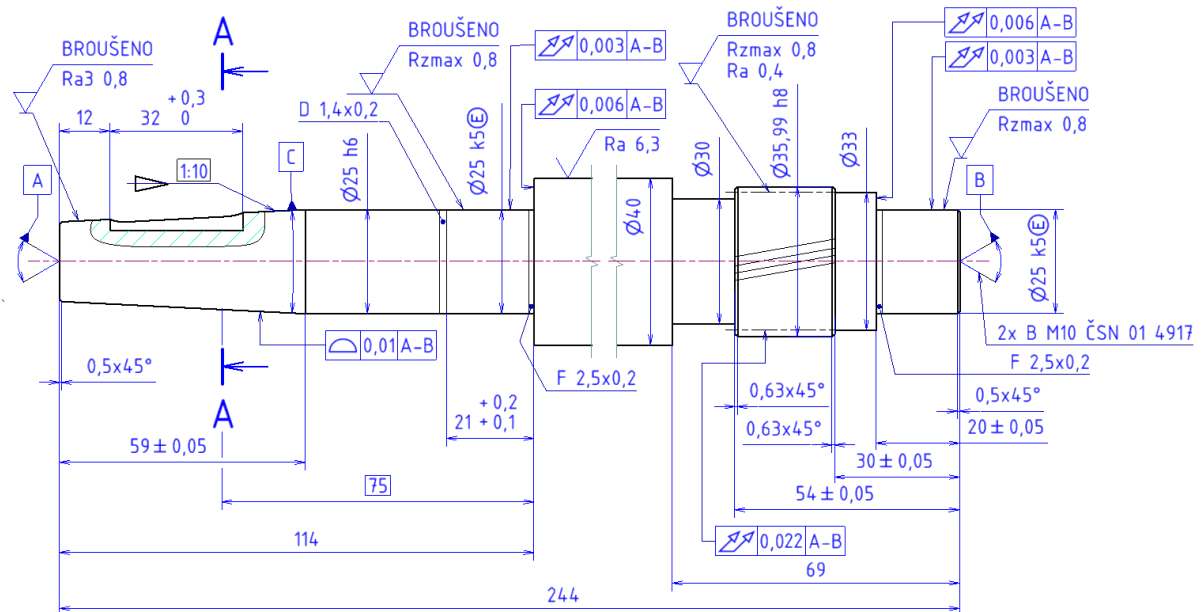


Obr. 2.8 Úplná značka stavu povrchu

Do značky stavu povrchu se umísťují doplňkové požadavky na povrch, které se vyžadují na výrobku. Na obr. 2.8 je vyobrazena úplná značka povrchu, se všemi doplňkovými požadavky. [1][5][7]

Požadavek A předepisuje jeden požadavek na strukturu povrchu. Požadavky A a B udávají více požadavků na strukturu povrchu. Požadavek C udává výrobní proces, kterým je struktura povrchu vyrobena. Požadavek X vyjadřuje nerovnosti a jejich orientaci. Poslední požadavek E vyjadřuje přídavek na obrábění vyjádřený v mm. [1][5][7]

Na obr. 2.9 je zobrazeno použití různých struktur povrchu s různými požadavky na příkladu neúplného výkresu hřídele převodovky.



Obr. 2.9 Příklady různých typů drsností na neúplném výkresu hřídele

3. Obecný postup tolerování převodovky

Převodovky jsou složeny z mnoha dílů – z vyrobených nenormalizovaných polotovarů, vyrobených z normalizovaných polotovarů nebo z nakoupených bez dalších úprav či s úpravami. Každý díl má předepsané konkrétní tolerance, které jsou vyžadovány pro správnou funkci. V této kapitole budou analyzovány tolerance jednotlivých komponentů a následně budou v další kapitole aplikovány při návrhu převodovky.

Prvním krokem při návrhu tolerancí je výpočtový návrh, který v sobě obsahuje návrhy všech průměrů hřídelí, návrh ozubení, návrh ložisek a návrhy spojení hřídel–náboj. Při tomto návrhu se definují všechny rozměry, které jsou důležité pro následné tolerování.

Druhým krokem je volba uložení jednotlivých dílů. Mezi tyto díly patří ložiska, hřídelová těsnění, víčka ložisek, drážkování, těsná pera a spojení hřídele s nábojem pomocí lisování. Při tomto kroku je důležité sledovat doporučení výrobce dílu, případně správně zvolit uložení vyráběných dílů dle doporučení dané normou.

Následujícím krokem je řešení rozměrových obvodů, které jsou důležité pro správnou funkci dílů v převodovce. Tato bakalářská práce se rozměrovými obvody nezabývá, avšak podrobné řešení rozměrových obvodů je v bakalářské práci z roku 2017 od autora Petra Janíka „*Způsoby řešení rozměrových obvodů*“ [20].

Dalším krokem je správné zvolení drsností dle doporučení výrobce dílu. Při tomto kroku je stěžejní věnovat pozornost na druh použité drsnosti (obvykle R_a a R_z). Nezbytné je i sledovat požadavek na tvrdost povrchu.

Posledním krokem při postupu tolerování převodovky je návrh geometrických tolerancí. Tento krok je opět svázán s doporučením výrobců, kteří předepisují druh geometrické tolerance i velikost tolerančního pole, případně tolerance mohou být předepsány i normou pro daný díl (např. ozubení).

Po všech těchto krocích následuje kontrola správnosti volby jednotlivých parametrů, která má za úkol eliminovat chyby při nedůslednosti v průběhu vyhledávání tolerancí, které výrobci doporučují.

Schematicky se tento postup dá shrnout do následujících bodů:

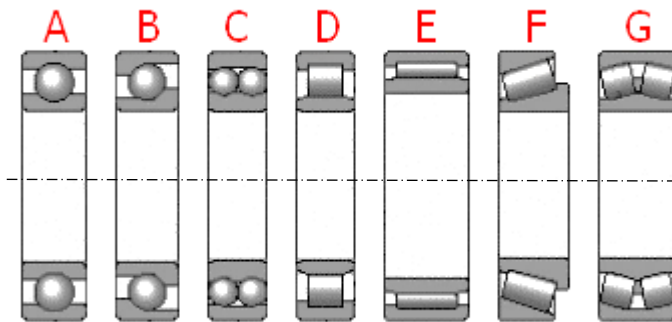
- Výpočtový návrh
- Volba uložení dílů
- Rozměrové obvody
- Stav povrchu dílů
- Návrh geometrických tolerancí
- Kontrola

3.1. Ložiska

Ložiska jsou součásti, které umožňují rotační pohyb součástí a zároveň přenášejí síly vzniklé při pohybu součástí do rámu. Základní rozdělení ložisek je dle typu ložiska (dle tření) – kluzná a valivá.

Kluzná ložiska pracují na principu smykového tření ploch, naopak valivá ložiska nahrazují kluzné (smykové) tření výhodnějším valivým třením. Kluzná ložiska se dělí dle druhu tření a dle použitého materiálu. Valivá ložiska se dělí dle použitých valivých elementů. Na obr. 3.1 jsou zobrazeny základní typy elementů, které se využívají ve valivých ložiskách. Tyto elementy jsou: [10]

- Kuličky (A, B, C)
- Válečky (D)
- Jehly (E)
- Kuželíky (F)
- Soudečky (G)



Obr. 3.1 Typy valivých elementů valivých ložisek [10]

Každé ložisko má své charakterizované parametry, které určují, o jaký typ ložiska se jedná. Tyto hlavní parametry jsou: [11]

- Rozměry
- Typ použitého tělíska
- Počet řad ložiska
- Statická únosnost
- Dynamická únosnost
- Mezní otáčky

3.1.1. Uložení

Při volbě uložení je důležité zohlednit tyto faktory zatížení ložisek: [13]

- Způsob otáčení
- Velikost zatížení
- Teplotní rozdíly
- Požadavky na přesnost
- Konstrukce a materiály hřídelů a těles
- Montáž/demontáž
- Axiální posunutí ložiska v axiálně volné poloze

Ložiska jsou obvykle uložena přechodně, v případě velkých ložisek je využito uložení s přesahem. Při volbě uložení vždy závisí na druhu použitého ložiska (bodový styk – kulička, čárový styk – válečky, soudečky, kuželíky, jehly). Výsledné uložení se vždy řídí pokyny výrobce ložisek. [13][14]

Tab. 3.1 Výběr tolerancí pro ocelové hřídele [14]

Zatížení	Průměr hřídele	Rozměrová třída tolerance	Celkové radiální házení	Celkové axiální házení	Drsnost Ra
			t_1	t_2	
Obvodově- Lehké	(0;17>	js5	$\frac{1}{2}$ IT4	IT4	0,4
	(17;100>	j6	$\frac{1}{2}$ IT5	IT5	0,8
Obvodově- Normální	(0;10>	js5	$\frac{1}{2}$ IT4	IT4	0,4
	(10;17>	j5	$\frac{1}{2}$ IT4	IT4	0,4
	(17;100>	k5	$\frac{1}{2}$ IT4	IT4	0,8

Způsob uložení si ukážeme na příkladu uložení ložiska 6407 ($\varnothing d = 35$ mm, $\varnothing D = 100$ mm). Ložisko je vloženo na ocelovou hřídel a umístěno v litinovém děleném tělese. Dle tab. 3.1 pro $\varnothing d = 35$ mm a normální zatížení je uložení na hřídel $k5$. Dle tab. 3.2 pro $\varnothing D = 100$ mm, dělené těleso a pro bodové normální zatížení je uložení v tělese $H8$. Důležitou poznámkou u všech tolerancí je i způsob vyhodnocení tolerance pomocí obálkové plochy E , které předepisuje výrobce ložisek SKF. Výsledný zápis uložení bude vypadat takto: hřídel – $\varnothing 35 k5\text{E}$, těleso – $\varnothing 100 H8\text{E}$. [14]

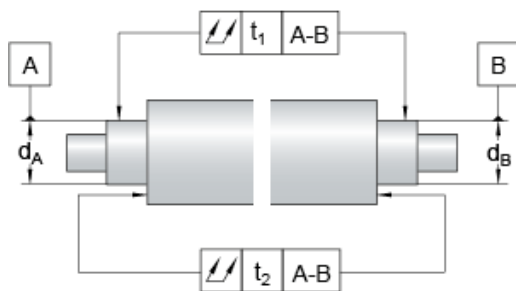
Tab. 3.2 Výběr tolerancí pro litinová radiální tělesa [14]

Těleso	Zatížení	Rozměrová třída tolerance	Celkové radiální házení	Celkové axiální házení	Drsnost Ra	Posuvnost vnějšího kroužku
			t_1	t_2		
Nedělené	Obvodové – normální	N7	$\frac{1}{2}$ IT6	IT6	3,2	Ne
	Neurčitý směr – normální	K7	$\frac{1}{2}$ IT6	IT6	3,2	Ne
Nedělené/ dělené	Neurčitý směr	J7	$\frac{1}{2}$ IT6	IT6	3,2	Obvykle ano
	Bodové – normální	H8	$\frac{1}{2}$ IT6	IT6	3,2	Ano

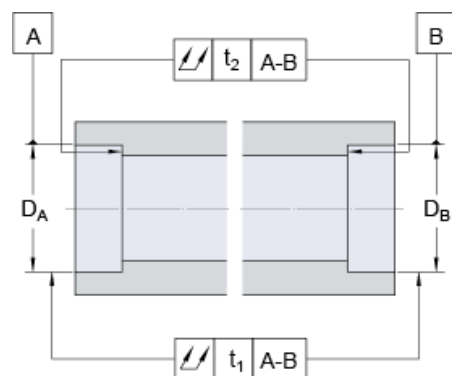
3.1.2. Geometrické tolerance ložisek

Ložiska od výrobce SKF se tolerují pomocí celkového házení (⌘). Dle přesnosti ložiska se velikost radiálního házení určuje jako $\frac{1}{2}$ tolerančního pole pro daný průměr, na kterém je umístěno ložisko. Axiální házení se toleruje jako celé toleranční pole pro daný průměr, na kterém je umístěno ložisko. [15]

V tab. 3.1 a tab. 3.2 jsou zobrazeny tolerance pro házení dle tříd přesnosti a dle druhu ložiska pro ocelové hřídele a litinová tělesa. Na obr. 3.2 je zobrazeno použití tolerance celkového házení na hřídeli a na obr. 3.3 je zobrazeno použití tolerance celkového házení v tělese. Využití těchto tolerancí je vidět na obr. 2.9. [15]



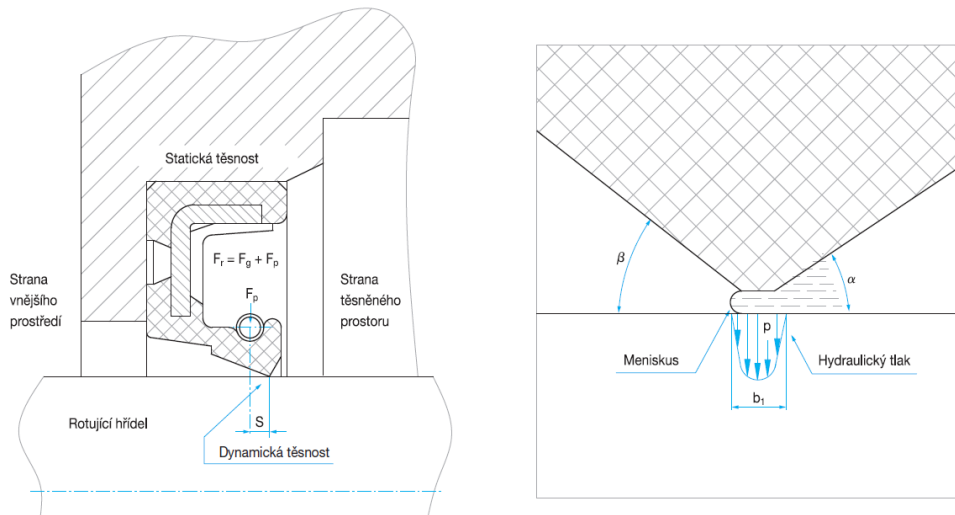
Obr. 3.2 Umístění tolerance celkového házení na hřídeli [15]



Obr. 3.3 Umístění tolerance celkového házení v tělese [15]

3.2. Hřídelová těsnění

Hřídelová těsnění („gufera“) jsou těsnící prvky, které těsní rotující hřídele vůči náboji/tělu. Tato těsnění se používají za účelem zadržení maziva uvnitř mechanismu (v našem případě převodovky) a pro zabránění vniku nečistot do mechanismu. Těsnost spoje zaručuje statická a dynamická těsnost. Statická těsnost je docílena uložení těsnění v náboji/těle. Naopak dynamická těsnost je docílena dotykem bříty těsnění s hřídelí. Aby těsnění správně těsnilo, musí být plocha pod břítem při montáži ošetřena mazivem. Toto ošetření způsobí vznik mazacího filmu na povrchu hřídele. Při tomto ošetření a dotyku (tlaku) bříty s hřídelí vznikne těsnící spára „meniskus“, která dovoluje rotaci hřídele, aniž by prosakovalo mazivo z mechanismu. Schéma principu hřídelových těsnění je zobrazeno na obr. 3.4. Každý výrobce určuje potřebné tolerance hřídele a náboje/těla pro správnou funkci těsnění. [16][17]



Obr. 3.4 Schéma principu těsnění hřídelového těsnění [16]

Je mnoho druhů hřídelových těsnění. Liší se použitými pryžovými materiály, typy břitů, mohou být vyrobeny s přidavnými výztužemi, pláštěm či žebrováním, mohou být vyrobeny jako tlakové, nemusejí obsahovat pružinu nebo výztužný kroužek apod. Proto je důležité při výběru těsnění zaměřit se na tyto kritéria: [16][17]

- ➔ Pracovní teplota
- ➔ Vnější prostředí
- ➔ Otáčky
- ➔ Typ maziva
- ➔ Orientace
- ➔ Montážní předpoklady
- ➔ Souosost a obvodové házení
- ➔ Požadovaná životnost

Výrobce hřídelových těsnění určuje, jaké parametry jsou nutné pro správnou funkci těsnění. Obecně výrobci předepisují tyto parametry: [16][17]

- Uložení hřídele
- Uložení díry v tělese
- Drsnost a kvalita povrchu
- Tvrdost a povrchová úprava
- Náběhy
- Souosost a celkové házení

3.2.1. Požadavky na hřídel

Uložení hřídele

Výrobci obvykle doporučují, aby hřídel v místě umístění kroužku byla vyrobena dle ISO na toleranci h . Výrobce SKF doporučuje toleranci $h11$ pro všechny typy kroužků. Naopak výrobce RUBENA doporučuje toleranci v rozmezí $h8$ až $h11$. [16][17]

Drsnost povrchu

Výrobce kroužků SKF doporučuje, aby drsnost povrchu hřídele R_a v místě kroužku se pohybovala v rozmezí $0,2 - 0,5 \mu\text{m}$. Zároveň doporučuje, aby maximální výška R_z se pohybovala v rozmezí $1,2 - 3 \mu\text{m}$. Dále doporučuje, aby hodnota $R_a 0,2$ byla minimální hodnota drsnosti, protože při použití nižší hodnoty drsnosti R_a se nepříznivě ovlivňuje přívoz maziva k břitu a dojde ke zkrácení životnosti kroužku. Výrobce také doporučuje způsob broušení zapichovacím způsobem správně orovnaným brusným kotoučem, aby nebyl povrch hřídele tvořen spirálovou stopou. [17]

Výrobce kroužků RUBENA doporučuje pouze drsnost R_a v rozmezí $0,4 - 0,8 \mu\text{m}$. Dále také doporučuje způsob broušení zapichovacím způsobem, aby na hřídeli nebyly stopy po nástroji ve tvaru šroubovice, které by pracovaly jako čerpadlo a zkracovaly životnost kroužku. [16]

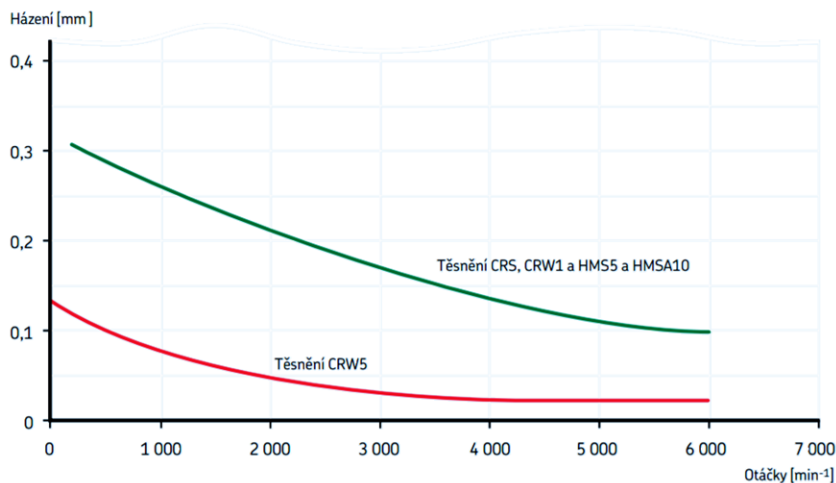
Oba výrobci shodně doporučují, aby hřídel byla bez rýh, značek a jiných vad, které by zkracovaly životnost kroužku. [16][17]

Tvrdost povrchu

Výrobce SKF i RUBENA doporučují minimální tvrdost povrchu 45 HRC. Při vyšších otáčkách se doporučuje drsnost 60 HRC. Oba výrobci umožňují vytvoření povrchové vrstvy kalením, cementováním i nitridací s minimální tloušťkou $0,3 \text{ mm}$. Výrobce SKF připouští i minimální drsnost 30 HRC, ale pouze v případě, že nemůže dojít k poškození povrchu těsnící plochy. [16][17]

Náběhy

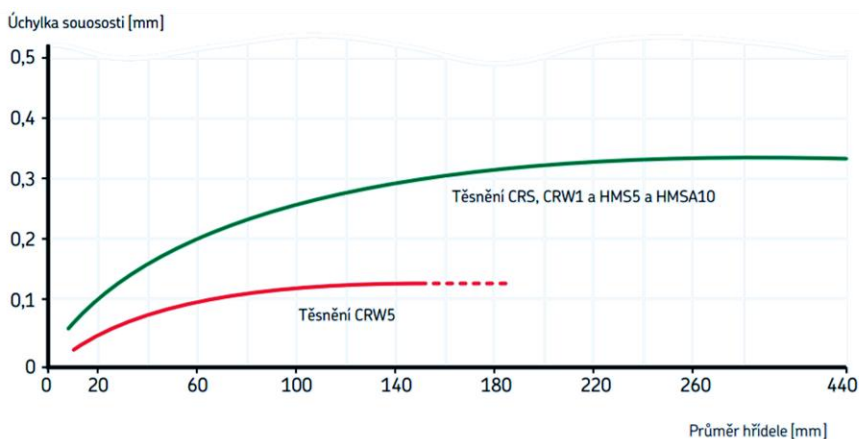
Výrobce SKF i RUBENA doporučují srazit případně zaoblit hrany konce hřídele, přes který se nasouvá kroužek, aby se při montáži kroužek nepoškodil. Velikost sražení a zaoblení se vždy řídí podle pokynu příslušného výrobce. Na obr. 3.7 je zobrazen příklad, jak srazit případně zaoblit hrany dle výrobce kroužků SKF. [16][17]



Obr. 3.5 Doporučené hodnoty obvodového házení [17] - upraveno

Geometrické tolerance

Výrobce SKF i RUBENA shodně doporučují geometrickou toleranci házení a sousosti v místě styku hřídelového kroužku s hřídelí. Oba výrobci předepisují velikost celkového (obvodového) házení (↗↘) dle použitého typu hřídelového těsnění a dle otáček hřídele. Sousost (⊙) se určuje dle jmenovitého průměru hřídele, na který dosedá těsnící břit, a dle použitého kroužku. Pro kroužky od výrobce SKF jsou na obr. 3.5 doporučené hodnoty celkového (obvodového) házení (↗↘) a na obr. 3.6 doporučené hodnoty sousosti (⊙). [16][17]



Obr. 3.6 Doporučené hodnoty sousosti [17] - upraveno

3.2.2. Požadavky na těleso

Uložení děr v tělesech

Výrobce SKF i RUBENA shodně doporučují, aby průměr díry v tělese byl vyroben na toleranci H8. Oba výrobci také doporučují, aby hloubka díry pro hřídelový kroužek byla alespoň o 0,3 mm větší, než je šířka kroužku. [16][17]

Drsnost povrchu

Výrobce kroužků SKF doporučuje, aby drsnost povrchu v tělese R_a v místě kroužku se pohybovala v rozmezí 1,6 – 3,2 μm . Zároveň doporučuje, aby maximální výška R_z se pohybovala v rozmezí 6,3 – 12,5 μm . [17]

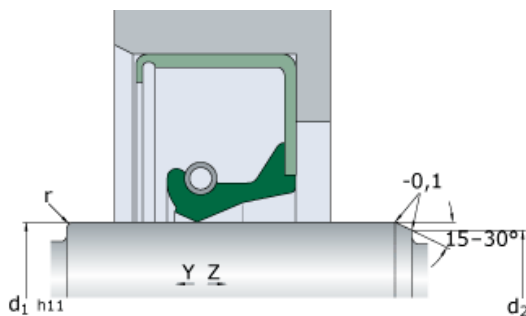
Výrobce kroužků RUBENA pouze doporučuje, aby drsnost povrchu R_a byla v rozmezí 1,6 – 6,3 μm . [16]

Náběhy

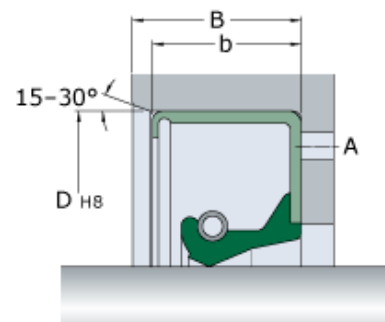
Výrobce SKF i RUBENA shodně doporučují vytvoření náběhů pro snadné zasunutí kroužku do díry tělesa. Velikost sražení se vždy řídí doporučením výrobce kroužků. Na obr. 3.8 je zobrazeno doporučené sražení hran tělesa dle výrobce kroužků SKF. [16][17]

Demontáž kroužku

Pro usnadnění demontáže kroužku je možnost vytvoření děr v tělese. Příklad použití díry v tělese je zobrazen na obr. 3.8, kde demontážní díra je označena jako „A“. [17]



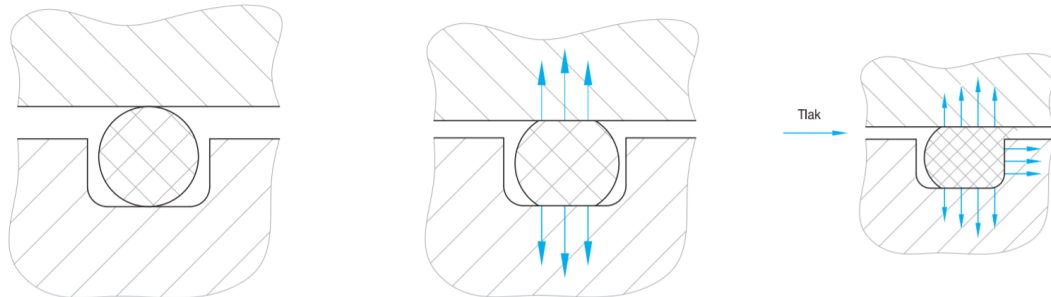
Obr. 3.7 Zaoblení a sražení hran hřídele dle SKF [17]



Obr. 3.8 Sražení hrany tělesa dle SKF [17]

3.3. O–kroužky

O–kroužky jsou těsnící kroužky z pryže, které se používají k těsnění plynů a kapalin. O–kroužek má tvar prstence s kruhovým průřezem. Princip těsnění o–kroužku je ten, že se při montáži kroužek z pryže vlivem malého prostoru, ve kterém je kroužek uložen, stlačí a vytvoří se počáteční stlačení. Následně se kroužek ještě více stlačí vlivem tlaku těsněného média, který natlačí kroužek na jednu stranu a vytvoří utěsněný spoj. Princip těsnění pomocí o–kroužků je zobrazen na obr. 3.9. [16]



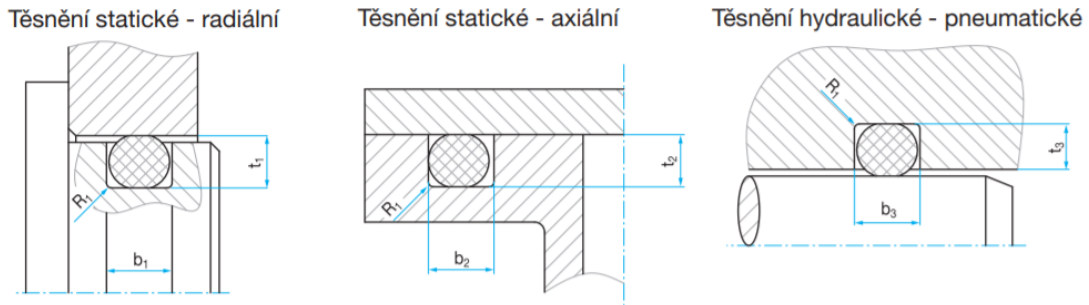
Obr. 3.9 Princip těsnění pomocí o–kroužků [16]

Výběr O–kroužků probíhá podle způsobu zatížení (statické – nepohyblivé, dynamické – pohyblivé), podle těsněného média (chemické složení, mechanické namáhání) a podle působícího tlaku ve spoji. [16]

3.3.1. Uložení o–kroužků

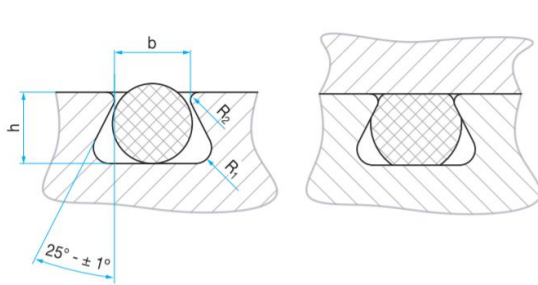
Prostor pro uložení o–kroužky má své specifické požadavky. Nejdůležitější požadavek pro tento prostor je malá vůle v axiálním směru, která dovoluje stlačení kroužku a zároveň malá vůle v radiálním směru pro správnou těsnost kroužku. Obvykle je axiální vůle (značená jako b) větší než radiální vůle (značená jako t). [16]

Drážky, do kterých se ukládají o–kroužky, je více druhů. Drážky se liší především tvarem, mohou být obdélníkové, lichoběžníkové a trojúhelníkové, přičemž každý výrobce předepisuje rozměry drážky pro uložení kroužku. U obdélníkové drážky dle výrobce RUBENA jsou tolerance pro axiální vůli b +0,25 a pro radiální vůli t +0,05. Dále se uvádí také poloměr zaoblení R v drážce, který se pohybuje od 0,25 – 3 mm dle velikosti kroužku. Na obr. 3.10 jsou vidět základní rozměry obdélníkového úložného prostoru pro o–kroužky. [16]

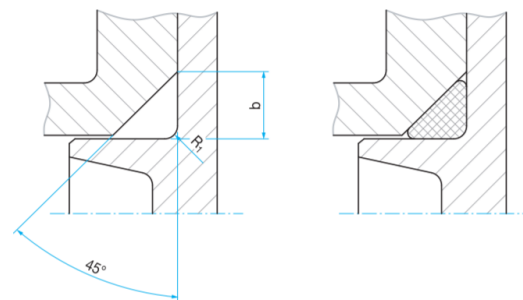


Obr. 3.10 Těsnění obdélníkové drážky [16]

Lichoběžníková („trapézová“) drážka dle výrobce kroužků RUBENA se využívá především pro větší kroužky (> 2 mm), které jsou uloženy dnem vzhůru. U této drážky se toleruje hloubka drážky $h \pm 0,05$ a šířka drážky $b \pm 0,05$. Dále se předepisují poloměry zaoblení R_1 a R_2 , které se pohybují od 0,25 až 1,6 mm dle konkrétního průměru průřezu kroužku. Lichoběžníková drážka je zobrazena na obr. 3.11. [16]



Obr. 3.11 Těsnící prostor pro lichoběžníkovou drážku [16]



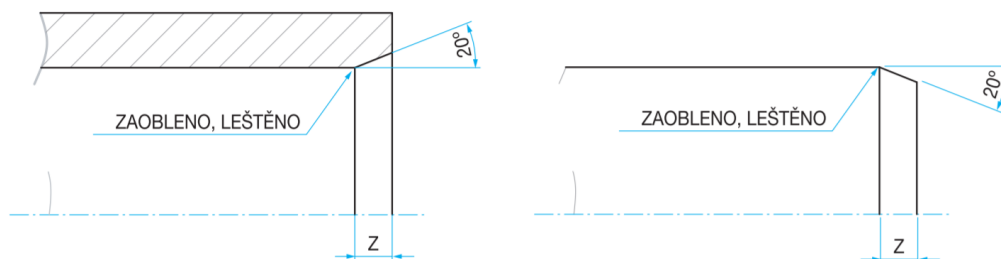
Obr. 3.12 Těsnící prostoru pro trojúhelníkovou drážku [16]

Posledním typem drážky je trojúhelníková drážka. Tato drážka má velmi málo místa pro změnu tvaru kroužku (stlačení) a používá se pouze ve specifických případech (těsnění vík, šroubů, přírub). Tato drážka má toleranci, dle výrobce kroužků RUBENA, šířky b vždy danou dle průměru průřezu kroužku a pohybuje se v rozmezí 0,1 – 0,5 mm. Poloměr zaoblení R_1 se u tohoto typu drážky pohybuje od 0,25 – 3 mm a je dán průměrem průřezu kroužku. Trojúhelníková drážka je znázorněna na obr. 3.12. [16]

Důležitým parametrem úložného prostoru kroužků je drsnost povrchu ploch. Tyto drsnosti se dělí dle povrchu na funkční (těsněný) a ostatní povrchy. Další dělení je dle způsobu zatížení (statické a dynamické) a dle tlaku (konstantní, proměnný). Dle výrobce RUBENA kroužků se drsnost R_a pro funkční plochy pohybuje v rozmezí 1,6 až 0,4 μm , kde drsnost $R_a 1,6$ se používá pro statický konstantní tlak a drsnost $R_a 0,4$ se používá pro dynamický proměnlivý tlak. Pro ostatní plochy se využívají drsnosti R_a v rozmezí 3,2 až 1,6

μm , kde $Ra\ 3,2$ se využívá pro statický konstantní tlak a $Ra\ 1,6$ se používá pro dynamický proměnlivý tlak. [16]

Dalším důležitým konstrukčním parametrem jsou zaváděcí sražení o-kroužků. Toto sražení se používá z důvodu dlouhé životnosti kroužku, protože při neaplikování zaváděcího sražení hrozí poškození kroužku o ostrou hranu při stlačení kroužku. Zaváděcí sražení dle výrobce kroužků RUBENA, označovaného jako z , se pohybuje v rozmezí 1,5 – 5 mm dle průměru průřezu kroužku. Drsnost Ra tohoto sražení se doporučuje menší než $0,8\ \mu\text{m}$ a zároveň maximální výška Rz aby byla menší než $4\ \mu\text{m}$. Na obr. 3.13 jsou znázorněny zaváděcí hrany pro náboj a pro hřídel. [16]



Obr. 3.13 Zavádění sražení pro náboj a hřídel [16]

3.4. Závity

Závity jsou strojní součásti, které se používají jako spojovací člen (šroub a matice) nebo pro transformaci pohybu (pohybový šroub). Závity se dělí na vnější a na vnitřní. Další dělení závitů je dle druhu závitu: metrický, whitworthův, palcový, lichoběžníkový, trubkový apod. U nás se nejvíce používají závity metrické pro spojovací členy a závity lichoběžníkové pro pohybové závity. Všechny rozměry závitů jsou dány normami. [5][7]

Označení metrických závitů se provádí následovně: [5]

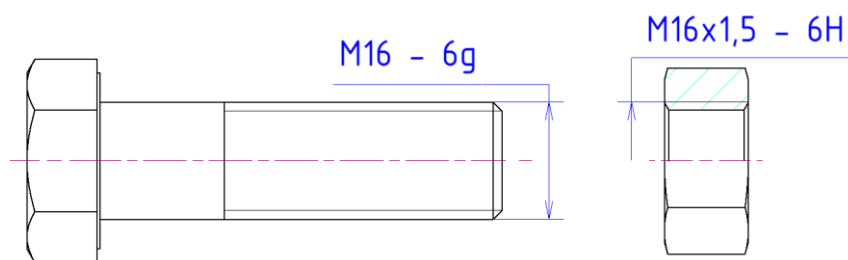
$$M\ 100 \times Ph4P2 - 2H6H/1k6g - L - LH$$

Parametr M udává, že se jedná o metrický závit, parametr 100 značí velký průměr závitu $d = 100\ \text{mm}$. $Ph4$ označuje stoupání závitu, $P2$ značí rozteč. Vzájemný podíl těchto dvou parametrů udává počet chodů závitu (jednochodý, dvojchodý, tříchodý apod.) Pokud je použit pouze jednochodý závit, rozteč a stoupání jsou shodné a udává se pouze rozteč (hrubá rozteč se neuvádí). Parametry $2H6H$ představují tolerance středního průměru D_2 ($2H$) a malého průměru D_1 ($6H$) vnitřního závitu. Pokud je uveden pouze jeden parametr (například $6H$), tak toto toleranční pole je použito pro oba průměry. Naopak parametry $1k6g$ udávají tolerance pro střední průměr d_2 ($1k$) a pro velký průměr d ($6g$). Taktéž platí, že pokud je zmíněna pouze jedna tolerance, platí pro oba průměry. Parametr L značí délku zašroubování, kde L značí dlouhá, N normální a S krátkou. Pokud je šroub zašroubován na normální délku,

parametr N se neuvádí. Poslední parametr v označení závitu je LH , kde LH představuje levotočivý závit. Pokud je závit pravotočivý, tak parametr RH se neuvádí. [5][6][7]

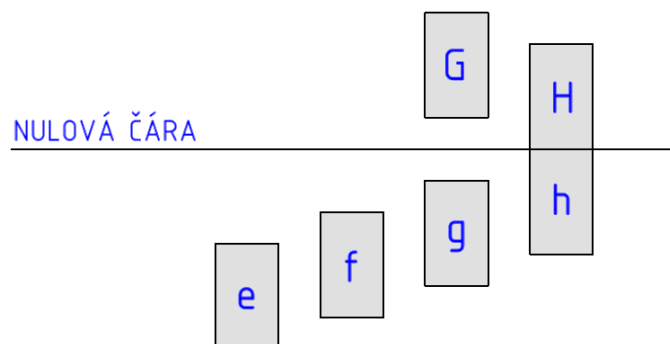
3.4.1. Tolerování závitů

Závit může být uložen s vůlí, přechodně i s přesahem. Vždy záleží na konkrétních tolerancích. U závitů se tolerují hlavní průměry závitu – velký průměr (d), střední průměr (D_2, d_2) a malý průměr závitu (D_1). Nejčastěji se závit ukládá s vůlí. Na obr. 3.14 jsou znázorněna označení závitu šroubu s hrubou roztečnou a označení matice s jemnou roztečí, kde 6 je stupeň přesnosti a g a H jsou polohy tolerančních polí. [5][6][7]



Obr. 3.14 Označení závitu šroubu a matice

Pro normální délku (N) zašroubování šroubu se využívá toleranční stupeň 6 , pro krátkou délku (S) se využívá toleranční stupeň menší jak 6 (obvykle 4 nebo 5) a pro dlouhou délku (L) se využívají stupně přesnosti větší jak 6 (obvykle 7 a 8). Pro běžné závity se využívají tolerance $6H/6g$, jak je uvedeno na obr. 3.14. Na obr. 3.15 je zobrazeno grafické porovnání poloh tolerančních polí pro vnitřní a vnější závity. [5]



Obr. 3.15 Grafické znázornění poloh tolerančních polí

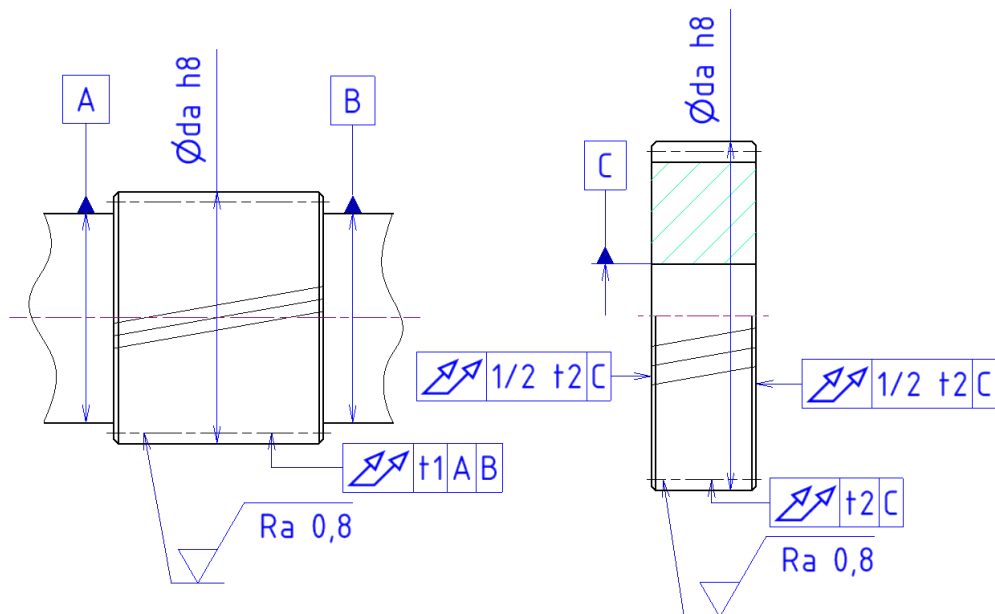
3.5. Ozubení

Ozubení slouží ke změně otáček a kroutícího momentu hřídele podle zvoleného převodového poměru. Ozubených kol je více druhů, liší se dle konkrétního použití. Nejčastěji se používají přímá ozubená kola a šikmá ozubená kola. Výhoda šikmých ozubených kol je v delším záběru zubů a tím i snížení hlučnosti a rázů. Pro přesnou osovou vzdálenost se používá korigování ozubených kol. [5][9]

Pro základní kontrolu ozubení se využívá kontrolní rozměr ozubených kol přes zuby W , kde dle potřebných výpočtů se vypočítá kontrolní rozměr a počet zubů a dle norem a dle stupně přesnosti se určí mezní úchytky těchto rozměrů. Dalším základním rozměrem je rozměr zubu v konstantní výšce a tloušťce. V dnešní době se rozměry ozubených kol měří výhradně pomocí speciálních souřadnicových měřících strojů. [5]

3.5.1. Tolerance ozubení

Tolerance ozubení se liší dle potřebné přesnosti ozubení. Přesnost ozubení je stanovena dle stupně přesnosti (1–12), kde 1–3 jsou pro měřicí zařízení a 10–12 pro těžké stroje. Volba stupně přesnosti záleží vždy na druhu zařízení, avšak pro běžné použití se využívá stupeň přesnosti 6–8. [5]



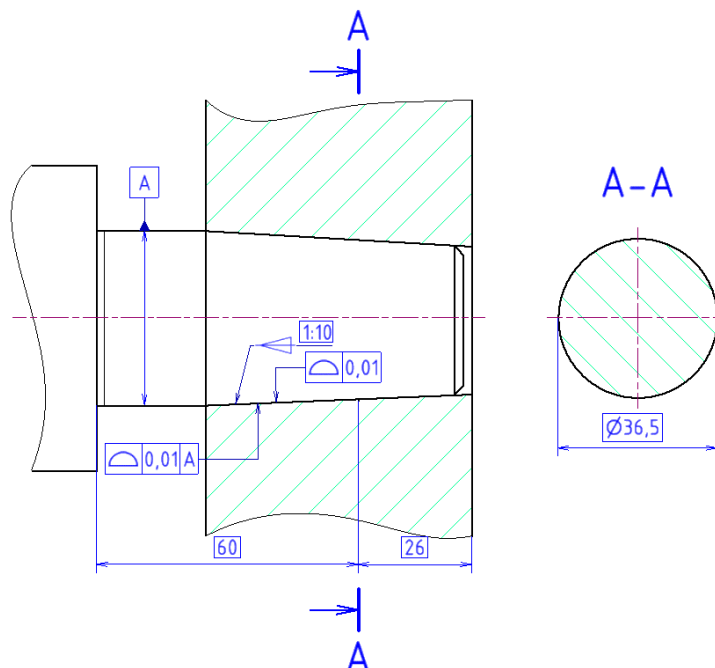
Obr. 3.16 Tolerování pastorku a kola

U ozubených kol se dle stupně přesnosti a rozměru určí stupeň přesnosti hlavového válce, který bývá obvykle v poloze tolerančního pole h . Dále se určí potřebná drsnost povrchu boku zubu Ra a házení zubů vůči středu kola. Házení se dá využít kruhové (\nearrow) případně i celkové (\nearrow). Tolerance házení se může předepsat na hlavovou i na roztečnou kružnici ozubeného kola. Pro zaručení potřebného házení se na boky kola předepisuje také tolerance házení, avšak

pouze $\frac{1}{2}$ z požadovaného tolerančního pole, aby součet tolerancí na obou bocích kola byl roven požadované toleranci házení na zubech. Na obr. 3.16 je znázorněno použití těchto tolerancí na pastorku a kolu, přičemž bylo využito stupně přesnosti ozubeného kola 7 pro toleranci hlavové kružnice d_a , pro drsnost na bocích zubu R_a a pro toleranci celkového házení (∇). [5]

3.6. Kuželové spojení

Kuželové spoje jsou spoje hřídele s nábojem funkčním kuželem. Toto spojení je velice výhodné z hlediska středění obou součástí, avšak je těžší na výrobu než obyčejné válcové spojení. Kuželový spoj obvykle charakterizuje kuželovitost 1:K, případně vrcholový úhel. Pro spojení hřídele s nábojem se využívá kuželovitost 1:10 s vrcholovým úhlem $5^{\circ}43'29''$, pro uložení ložisek 1:12 ($4^{\circ}46'19''$) a pro uložení nástrojů do vřeten se využívají Morse kužele (0–6). Kuželový spoj se dá využít i pro přenos kroutícího momentu, avšak musí být vyvinuta zarážecí síla F_z pro dostatečný tlak ve spoji pro přenos kroutícího momentu. Zarážecí síla F_z může být vyvinuta jednorázově např. lisem případně údery kladiva, nebo se předpětí vytvoří šroubovým spojem. [5][7][18]



Obr. 3.17 Příklad tolerování kuželového spoje s kuželovitostí 1:10

3.6.1. Tolerování kuželového spoje

Kuželový spoj se toleruje tak, že se označí určitý průměr na kuželu ze strany od pevné části hřídele (obvykle od osazení za ložiskem) a od jedné strany náboje. Dále se povrch kužele označí geometrickou tolerancí libovolné plochy (\ominus), kdy geometrická tolerance se základnou (základny) se vztahuje na hřídel a bez tolerance na náboj. Geometrická tolerance náboje může být

také vztažena k určité základně, pokud je náboj upravovaný polotovar (vrtání díry do kupované řemenice). Základny geometrických tolerancí na hřídeli se obvykle umísťují na průměry, kde jsou umístěna ložiska, nebo na středící důlky. Základna na náboji (pokud je použita) se umísťuje obvykle na vnější průměr náboje. Na obr. 3.17 je zobrazen obecný případ tolerování kužele s nábojem bez geometrické základny. Další příklad tolerování kužele je na obr. 2.9. [5][7]

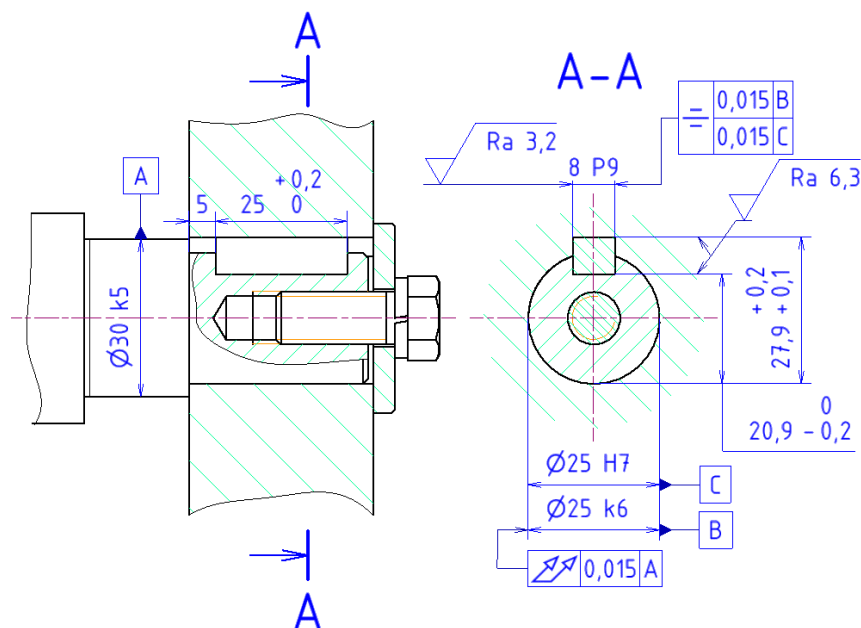
3.7. Těsné pero

Těsné pero je strojní součást pro přenos kroutícího momentu mezi hřídelí a nábojem. Těsné pero je vloženo v drážce v hřídeli a zasunuto do drážky v náboji. Přenos kroutícího momentu spočívá opřením těsného pera v náboji a v hřídeli. [18][19]

3.7.1. Tolerování těsného pera

Základní rozměry těsného pera jsou jeho šířka b , výška h a délka l . Při výrobě je těsné pero vyrobeno s tolerancí šířky b $e7$ nebo $h9$. Výška těsného pera h podléhá tolerancí $h9$ pro čtvercová pera ($b=h$) nebo $h11$ pro obdélníková pera ($b \neq h$). Délka těsného pera se vyrábí v toleranci $+0$ (horní tolerance) a $-0,2$ až $-0,5$ (dolní tolerance) dle délky pera. [5][6][7]

V drážce v hřídeli se toleruje šířka drážky, délka drážky a hloubka drážky. Šířka drážky je vždy vyrobena v toleranci $P9$. Délka drážky v hřídeli má toleranci stejnou jako délka těsného pera, avšak obrácenou, horní tolerance je $+0,2$ až $+0,5$ dle délky pera a dolní tolerance je $+0$. Hloubka drážky v hřídeli je $+0$ (horní tolerance) a $-0,1$ nebo $-0,2$ (dolní tolerance) dle použitého pera. [5][6][7]



Obr. 3.18 Příklad tolerování těsného pera

V drážce v náboji se šířka drážky toleruje stejně jako v hřídeli, je použita tolerance $P9$. Délka drážky je obvykle stejná jako je délka celého náboje z důvodu jednodušší výroby a jednodušší montáže. Hloubka drážky v náboji má tolerance $+0,2$ nebo $+0,4$ (horní tolerance) dle použitého pera a $+0,2$ nebo $+0,1$ až $+0,2$ (dolní tolerance) taktéž dle použitého pera. [5][6][7]

Drsnost povrchu Ra je na bocích drážek obvykle $3,2$ a v drážce v náboji v hřídeli obvykle $6,3$. [5][6][7]

Nově výrobci předepisují pro drážku v náboji i v hřídeli geometrickou toleranci souměrnosti (---) drážky vůči průměru hřídele (základna), na kterém je těsné pero. Udává se, že tolerance je 30 až 50 % z tolerance šířky drážek $P9$ pro příslušný rozměr drážky.

Spojení náboje a hřídele pomocí těsného pera může být uloženo přechodně ($H7/k6$, $H6/k5$), s vůlí ($H8/g7$, $H8/f7$) pro pohyblivá spojení a při vyšších otáčkách se využívá uložení $H8/m7$, případně $H8/p7$. Pro správné středění hřídel může obsahovat geometrické tolerance celkového házení (↗), nebo tolerance souososti (⊙) a válcovitosti (↗). [5][18][19]

Příklad tolerování těsného pera je na obr. 3.18, kde je použito těsné pero $8 \text{ e}7 \times 7 \times 25$. Na obrázku je použito axiální pojištění náboje pomocí pojistné desky s pružnou podložkou a šestihranným šroubem. [6]

3.8. Drážkování

Drážkování je spojení náboje s hřídelí tvarovým stykem a používá se pro přenos kroutícího momentu. Drážkování se používá tam, kde jsou velké kroutící momenty a musely by se použít 3 těsná pera a více. Drážkování se vyrábí ve více provedeních: rovnoboké, evolventní a jemné. Nejpoužívanější a nejjednodušší typ drážkování je rovnoboké. Rovnoboké drážkování se dělí na řady (lehká, střední, těžká) a dle malého průměru drážkování. Malý průměr drážkování d je pro všechny řady stejný, jednotlivé řady se liší velkým průměrem D , šířkou b a počtem zubů z . Všechny rozměry drážkování jsou dány normami. [6][18][19]

3.8.1. Tolerování rovnobokého drážkování

U tolerování drážkování je důležité si nejdříve stanovit středění hřídele vůči náboji. Používá se středění na malý průměr d , velký průměr D a na šířku zubu b . Středění na malý průměr d a velký průměr D se využívá pro vyšší nároky na přesnost uložení, přičemž středění na D je technologicky lehčí a využívá se pro méně náročné aplikace. Středění na b se volí při nižších nárocích na přesnost, avšak je využíváno při rázovitém chodu strojů (zemědělské stroje, traktory, automobily apod.) U drážkování se využívá tvrzení ploch drážkování u pohyblivých, případně u často rozebíraných spojů. [6][7][18][19]

Volba uložení se volí dle pohyblivosti spoje, dle tvrzení ploch drážkování a dle způsobu středění drážkování. U nepohyblivého, netvrzeného a středěného drážkování na malý průměr d se využívá tolerance na šířku zubu b v náboji $D9$ a v hřídeli $k7$, tolerance malého průměru d v náboji $H7$ a na hřídeli $h6, h7, js6, js7$ a $n6$ a tolerance na velký průměr D v náboji $H11$ a na hřídeli $a11$. Další druhy uložení pro jiné typy spojů jsou dány normou ČSN 01 4949. [18][19]

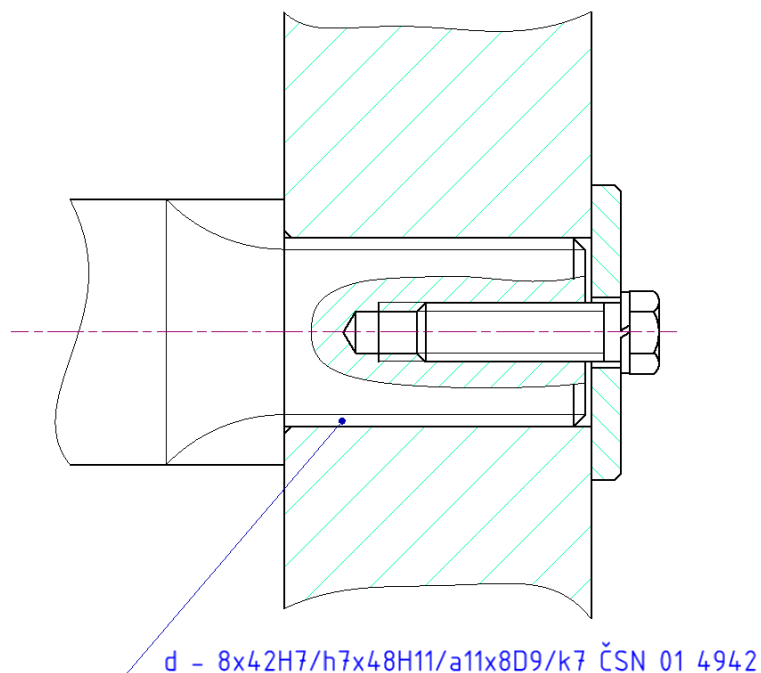
Drážkované spoje, které jsou vyrobeny podle normy ISO 14, jsou vždy středěny na malý průměr d a volba uložení je taktéž dáno normou. [19]

Drsnost povrchu drážek se liší taktéž dle druhu středění. Boky zubu obvykle bývají v rozmezí Ra 0,8 až 3,2, malý průměr se středěním v rozmezí Ra 0,4 až 0,8, v případě středění na boky drážek se drsnost Ra pohybuje mezi 6,3 až 12,5 μm a u velkého průměru (nestředěného) se drsnost Ra pohybuje v rozmezí 6,3 až 12,5 μm . [6][7][18][19]

Zápis drážkování ve výrobním výkresu obsahuje informace o středění, počtu zubů a tolerancí pro jednotlivé průměry. Příklad označení drážkování v návrhovém výkresu pro drážkování nepohyblivého, netvrzeného a se středěním na malý průměr d (použity tolerance pro hřídel i pro náboj): [18][19]

$d - 8x42H7/h7x48H11/a11x8D9/k7$ ČSN 01 4942

Na obr. 3.19 je zobrazen příklad střední řady rovnobokého drážkování s malým průměrem $d = 42 \text{ mm}$, s 8 zuby, se šířkou zubu $b = 8 \text{ mm}$ a velkým průměrem $D = 48 \text{ mm}$. Je použito středění na malý průměr d . Tolerance jsou navrženy na nepohyblivý a netvrzený spoj.



Obr. 3.19 Příklad zobrazení drážkování s označením

3.9. Lisování

Lisování je spojení náboje s hřídelí materiálovým stykem. Přenos kroutícího momentu je docílen tím, že ve spoji vznikne tlak vlivem výrobního přesahu. Velikost výrobního přesahu je dána minimálním tlakem ve spoji, který je potřeba pro přenos daného kroutícího momentu. Z důvodu bezpečnosti je návrhový kroutící moment obvykle 1,1x větší, než je kroutící moment přenášený. [18][19]


Jsou dva druhy lisování: za tepla a za studena. Lisování za tepla má výhodu v minimální lisovací síle, protože náboj je ohřát na danou teplotu a „volně nasunut“ na hřídel vlivem teplotní roztažnosti materiálů. Po vychladnutí spoje vznikne ve spoji tlak, který dovoluje přenos kroutícího momentu. Další výhoda tohoto spoje je také v nepoškození dosedacích ploch vlivem stržení drsností. Nevýhoda tohoto spoje je potřebná teplota k nasazení náboje, protože ohřevem náboje se mohou změnit materiálové vlastnosti náboje (popuštění, odcementování apod.) [18][19]

Naopak lisování za studena potřebuje pouze lisovací sílu obvykle vyvolanou lisem. Nehrozí změna materiálových vlastností ohřátím, avšak dosedací plochy se při lisování poškodí. Při výpočtech se na toto myslí a minimální výrobní přesah se zvětší o toto stržení. [18][19]

Tab. 3.3 Velikosti drsností pro lisování [19]

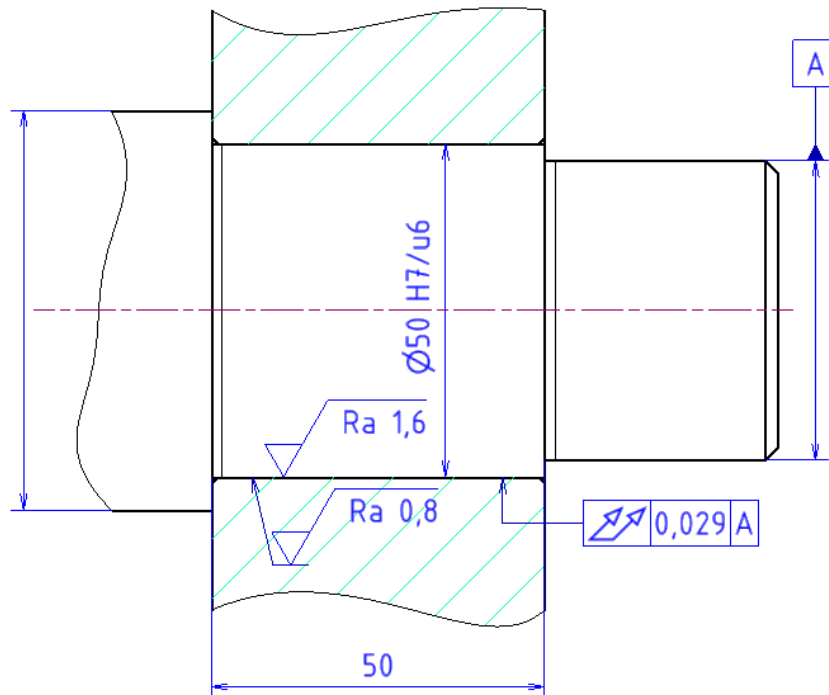
Průměr hřídele d [mm]	Drsnost Ra		
	Hřídel	Náboj	
(0;50)	0,1	0,2	Za studena
	0,4	0,8	
	0,8	1,6	
<50;120)	0,8	1,6	
<120 a více	1,6	1,6	Za tepla
(0;120)	1,6	1,6	
<120 a více	1,6	3,2	

3.9.1. Tolerování lisování

Lisování je spojení náboje s hřídelí, které je uloženo s přesahem. Důležité je proto správně zvolit uložení, kdy minimální přesah musí být větší než spočítaný výrobní přesah. Uložení se pak zvolí v soustavě jednotného hřídele, nebo díry, kdy vhodnější je uložení v soustavě jednotné díry (vlivem technologie výroby). Dále se může využít geometrické tolerance celkového házení na povrch hřídele ()¹, aby hřídel byla lépe uzpůsobená pro nalisování. [18][19]

Drsnost povrchu Ra odpovídá druhu nalisování, velikosti hřídele a jestli se jedná o hřídel nebo náboj. Orientační velikosti drsností jsou v tab. 3.3. [18][19]

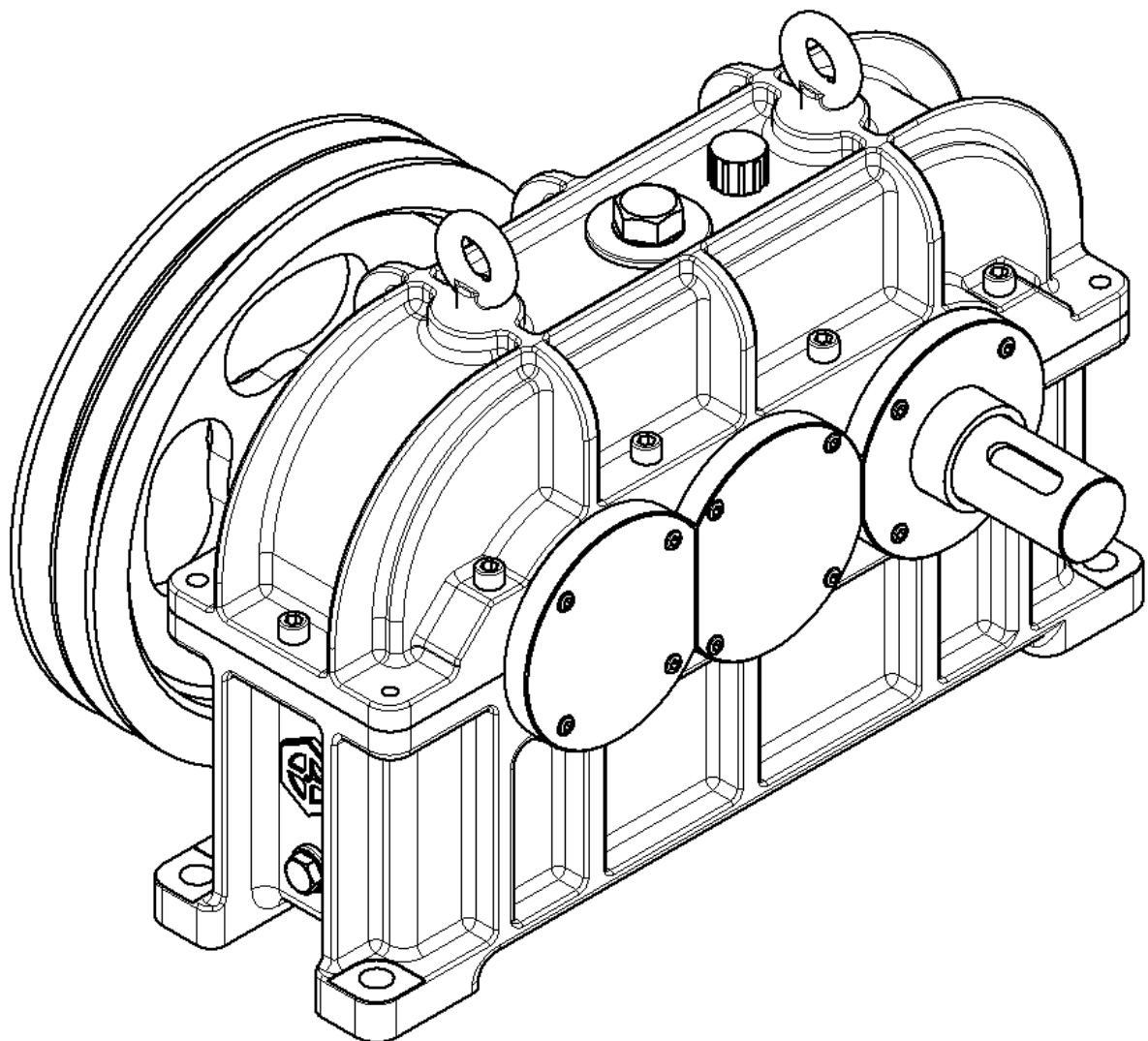
Příklad uložení lisování za studena je na obr. 3.20, kde je využito uložení $H7/u6$, kde pro toto uložení je minimální přesah $57 \mu\text{m}$. [6]



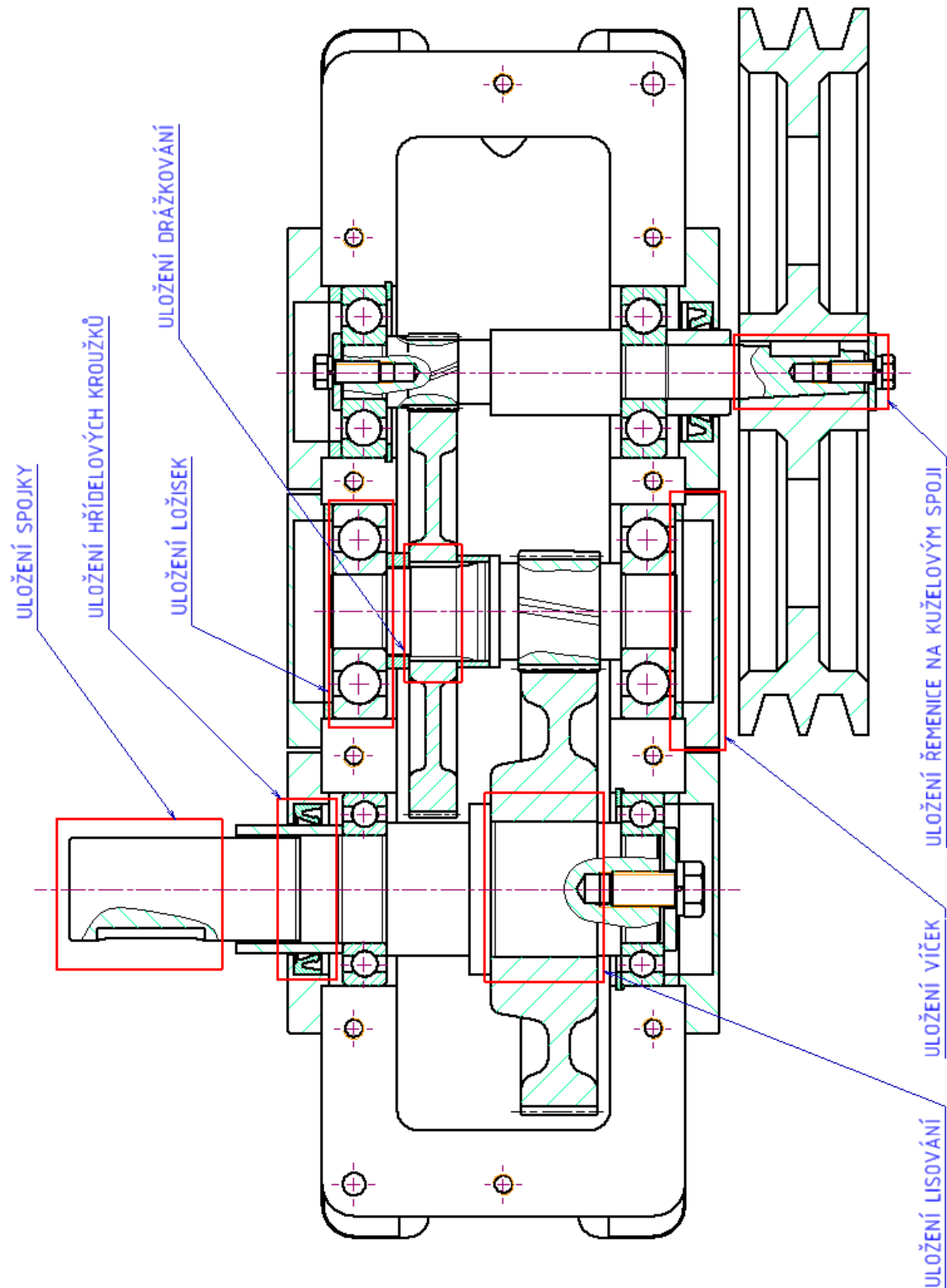
Obr. 3.20 Zobrazení lisovaného spoje

4. Aplikace tolerancí na převodovku

Aplikaci tolerancí na převodovku předchází kompletní návrh převodovky. Do návrhu převodovky především spadá výpočtový návrh, ale i designový návrh. V dnešní době každá součást je tvořena s ohledem na výsledný design, proto i u převodovky na obr. 4.1 byl kladen důraz na vnější vzhled, především na víku, kde byly zachovány linie žeber z vany. Po kompletním výpočtovém a designovém návrhu se může přejít na aplikaci tolerancí dle výrobců jednotných dílů použitých v převodovce. Na obr. 4.2 je zobrazen pohled převodovky, kde jsou zvýrazněna kritická místa, která se musí tolerovat.



Obr. 4.1 Dvoustupňová převodovka se šikmými zuby



Obr. 4.2 Zobrazení kritických míst pro tolerování

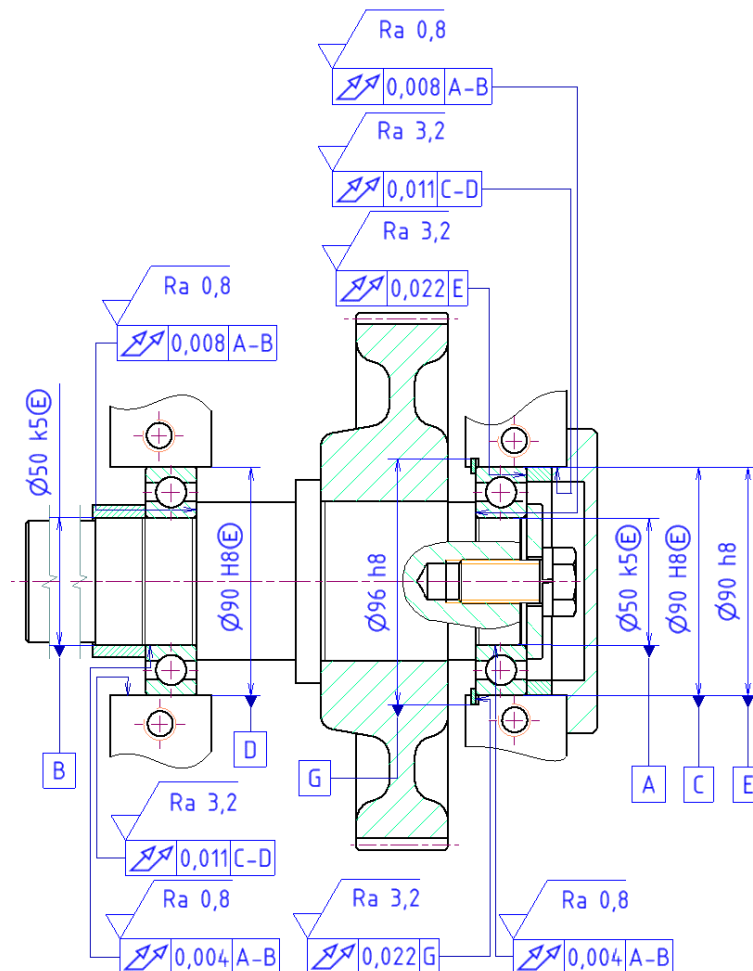
4.1. Uložení ložisek

Jak bylo zmíněno v kapitole 3.1, ložiska od výrobce SKF se tolerují pomocí uložení vnitřního a vnějšího kroužku ložiska a pomocí geometrické tolerance celkového házení. Volba uložení a velikosti celkového házení jsou v tab. 3.1 a tab. 3.2.

4.1.1. Uložení s jedním pevným a druhým volným ložiskem

Toto uložení vychází ze staticky určitého uložení. Jedno ložisko (obvykle to, které je jednodušší na stáhnutí a dotažení) se uloží pevně (radiálně i axiálně) a druhé volně (pouze radiálně). Toto uložení je zobrazeno na obr. 4.3 a na obr. 4.2 u vstupní a výstupní hřídele. Pevné uložení se obvykle provádí pomocí pojistné desky s pružnou podložkou a šestihranným šroubem a z druhé strany pomocí rozpěrného ložiskového kroužku.

Na obr. 4.3 je zobrazeno toto uložení ložisek na výstupní hřídeli i s hodnotami geometrické tolerance celkového házení (∇). Dle tab. 3.1 je uložení vnitřního kroužku ložiska $k5^{\text{E}}$ a velikost celkového radiálního házení $4 \mu\text{m}$ a axiálního $8 \mu\text{m}$. Uložení vnějšího kroužku ložiska je dle tab. 3.2 $H8^{\text{E}}$ a velikost celkového radiálního házení je $11 \mu\text{m}$ a axiálního $22 \mu\text{m}$.

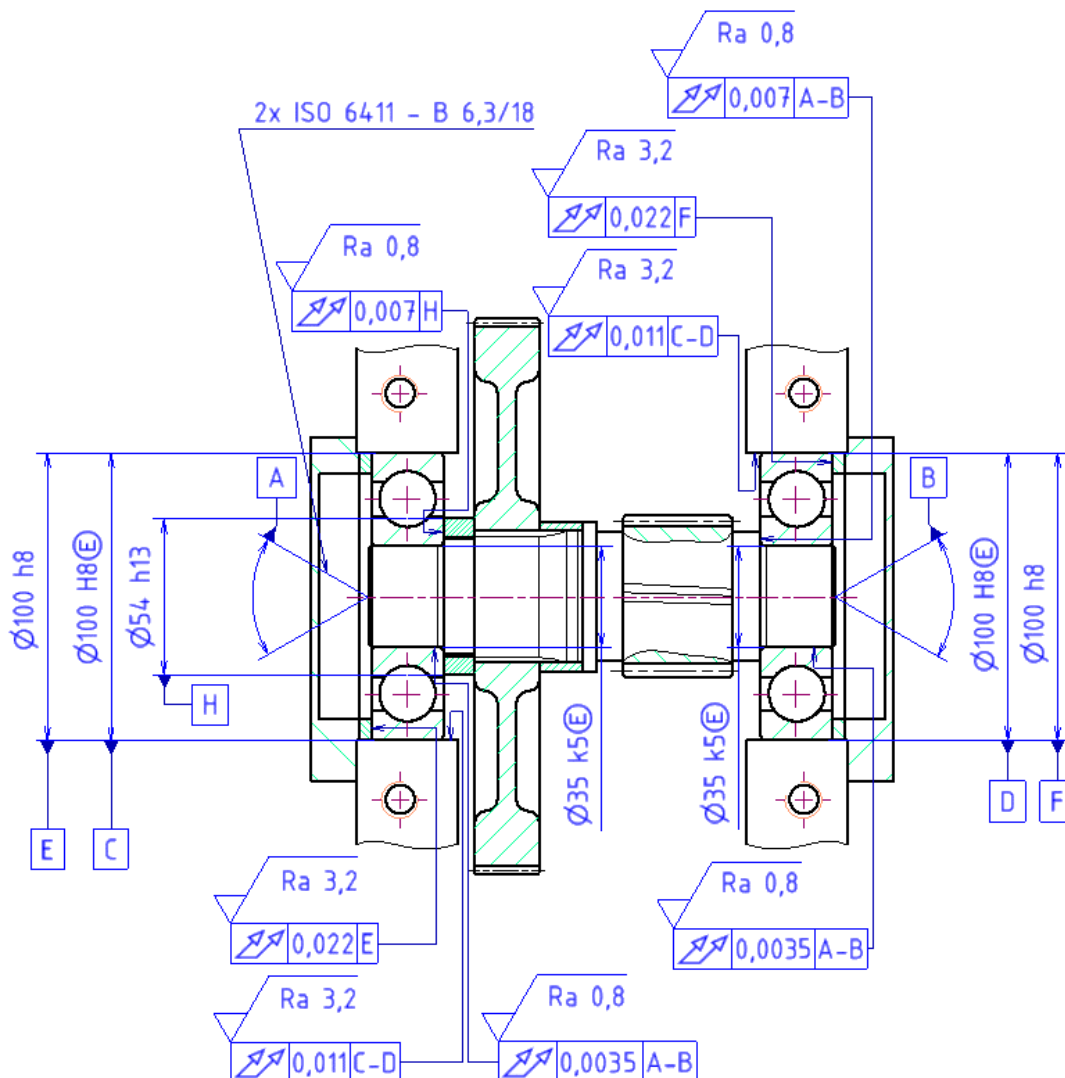


Obr. 4.3 Uložení hřídele s pevným a volným ložiskem

4.1.2. Uložení za vnější kroužky

Uložení za vnější kroužky je velice jednoduchý způsob uložení hřídelů. Ložiska se opřou jednou stranou o vnitřní kroužek a druhou stranou za vnější kroužek. Pro zabránění statické neurčitosti uložení se předepíše montážní vůle (0,1 mm na 100 hřídele) na jednom ložisku. Toto uložení je na obr. 4.4 a na také na obr. 4.2, kde předlohovává hřídel je uložena za vnější kroužky. Toto uložení se hojně využívá u kuželíkových ložisek. [9]

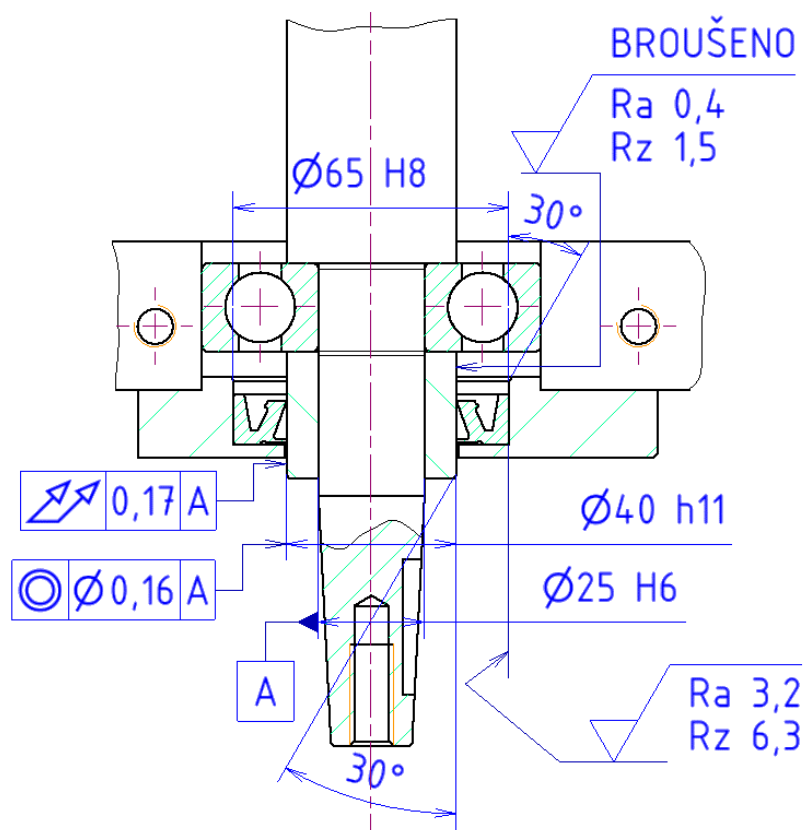
Na obr. 4.4 je zobrazeno toto uložení ložisek s hodnotami geometrické tolerance celkového házení (∇). Dle tab. 3.1 je uložení vnitřního kroužku ložiska $k5\text{E}$ a velikost celkového radiálního házení $3,5\ \mu\text{m}$ a axiálního $7\ \mu\text{m}$. Uložení vnějšího kroužku ložiska je dle tab. 3.2 $H8\text{E}$ a velikost celkového radiálního házení je opět $11\ \mu\text{m}$ a axiálního $22\ \mu\text{m}$.



Obr. 4.4 Uložení ložisek za vnější kroužky

4.2. Uložení hřídelových kroužků

Hřídelové kroužky v převodovce jsou od výrobce SKF, proto se při aplikaci tolerancí použijí doporučení od tohoto výrobce. Pro hřídelový kroužek na vstupní a výstupní hřídeli se použijí stejné požadavky a tolerance. Dle kapitoly 3.2 je zvoleno uložení pro vnitřní části kroužku $h11$ a pro vnější části kroužku $H8$. Pro správnou funkci těsnění byla použita geometrická tolerance celkového házení (∇), kde velikost tolerančního pole je dle obr. 3.5 $170 \mu\text{m}$ pro kroužek typu CRS a otáčky hřídele 3000 min^{-1} , a tolerance souososti (\odot), kde velikost tolerančního pole je dle obr. 3.6 $160 \mu\text{m}$, pro kroužek typu CRS a vnitřní průměr kroužku (těsněná plocha) 42 mm . Dále jsou použity náběhové hrany o úhlu 30° . Dále se na povrch trubky, na kterém je těsnící břit kroužku, aplikuje drsnost $Ra 0,4$, $Rz 1,5$ a požadavek na broušení. Pro povrch ve víčku je použita drsnost $Ra 3,2$ a $Rz 6,3$. Toto uložení je zobrazeno na obr. 4.5.

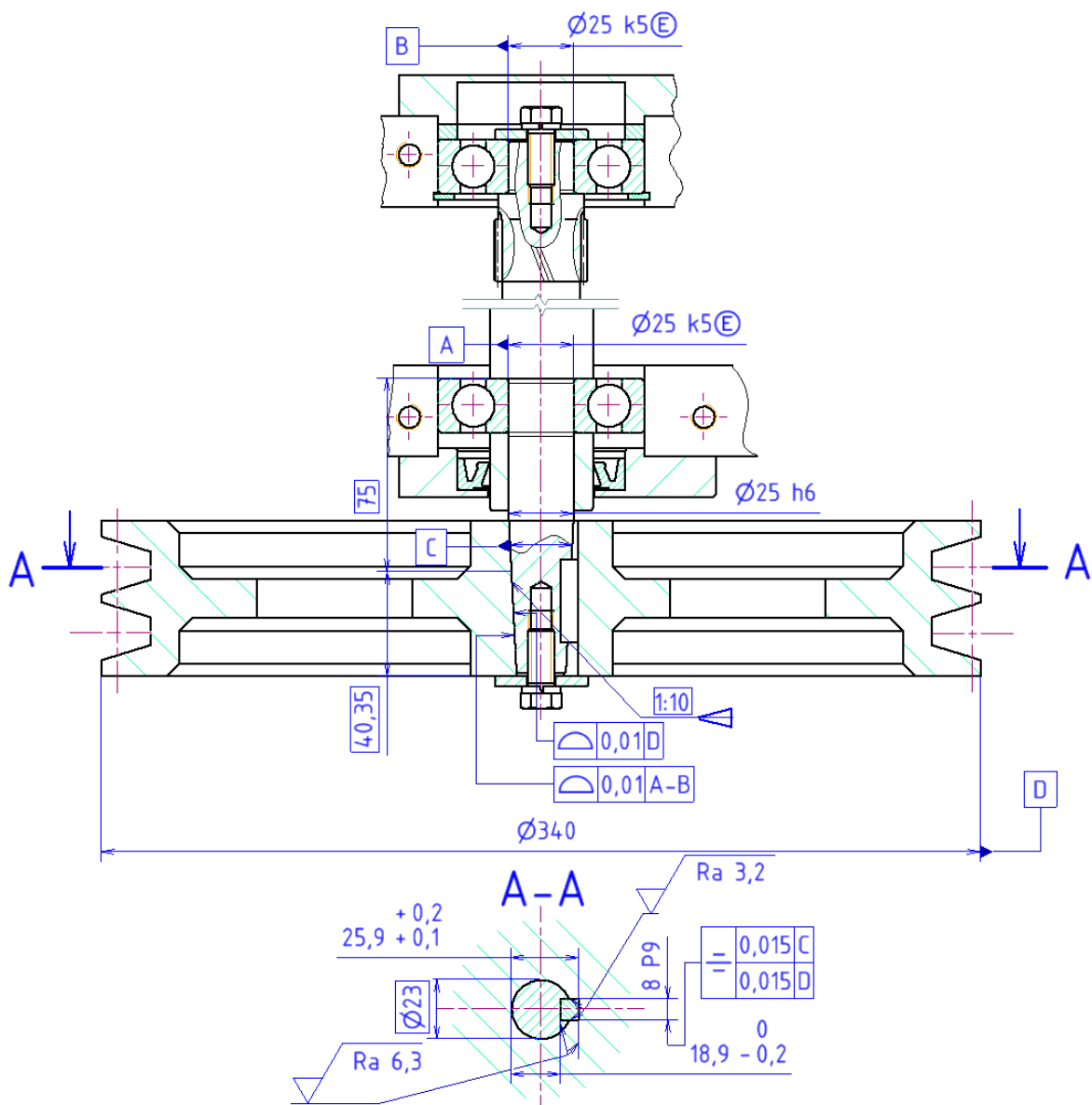


Obr. 4.5 Uložení hřídelového kroužku na vstupní hřídeli

4.3. Uložení řemenice na kuželovém spoji

Pro uložení řemenice na vstupní hřídeli byl zvolen kuželový spoj, který má výhodu v dobrém středění spoje. Pro přenos kroutícího momentu bylo zvoleno těsné pero. Postup tolerování spoje je dle kapitol 3.6 a 3.7.

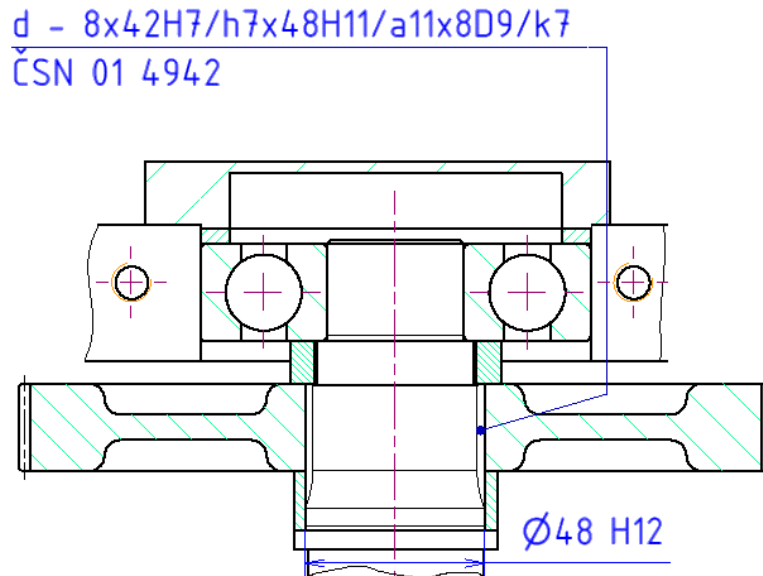
Pro geometrickou toleranci libovolné plochy (\ominus) pro kuželovou plochu byla zvolena velikost $10 \mu m$, kde pro hřídel má tolerance základny $A-B$ a pro řemenice je základna D . Dále je aplikována geometrická tolerance souměrnosti (\equiv) pro hřídel se základnou C a pro náboj D , kde velikost tolerančního pole byla zvolena $15 \mu m$. Dále byly využity drsnosti pro drážky těsného pera, kde boky jsou s drsností $Ra 3,2$ a drážky $Ra 6,3$. Výsledné uložení řemenice je zobrazeno na obr. 4.6.



Obr. 4.6 Uložení řemenice na kuželovém spoji s těsným perem

4.4. Uložení drážkování

Návrh tolerancí pro drážkování byl proveden dle kapitoly 3.8. Drážkovaný spoj byl vybrán ze střední řady, je nepohyblivý, netvrzený a byl zvolen způsob středění na malý průměr d . Tolerance na malý průměr d byly zvolena $H7/h7$, na velký průměr D $H11/a11$ a na šířku zubu b $D9/k7$. Dále byla zvolena tolerance na vnitřní průměr distanční trubky drážkování $H12$, aby byla trubka uložena s vůlí ($H12/a11$). Uložení drážkování je zobrazeno na obr. 4.7.

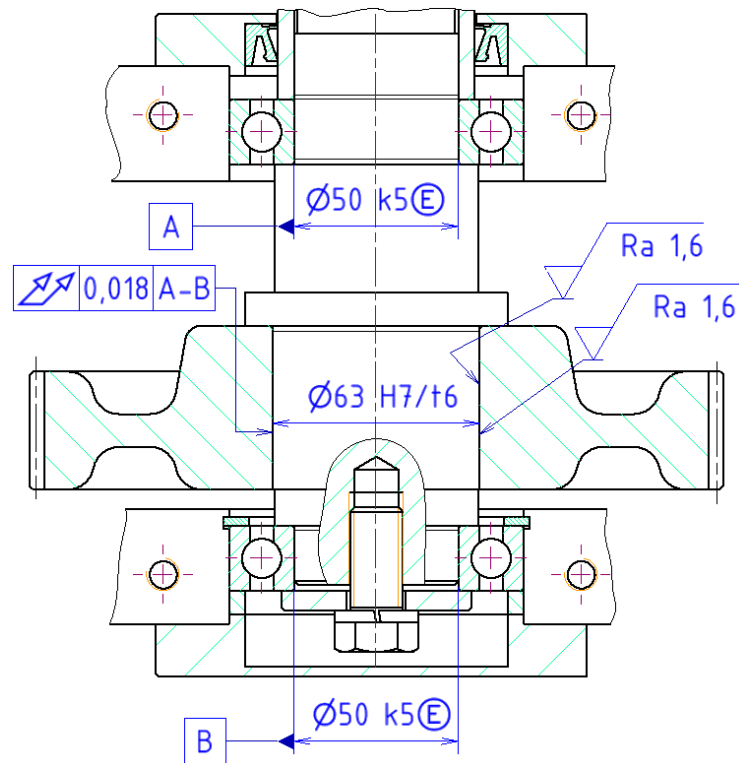


Obr. 4.7 Uložení drážkování

4.5. Uložení lisování

Dle návrhu lisování v PŘÍLOHA 1 je minimální přesah pro lisování za tepla $22,4 \mu\text{m}$. Dle tohoto minimálního přesahu bylo zvoleno uložení $H7/t6$, kde minimální přesah u tohoto spoje je $36 \mu\text{m}$.

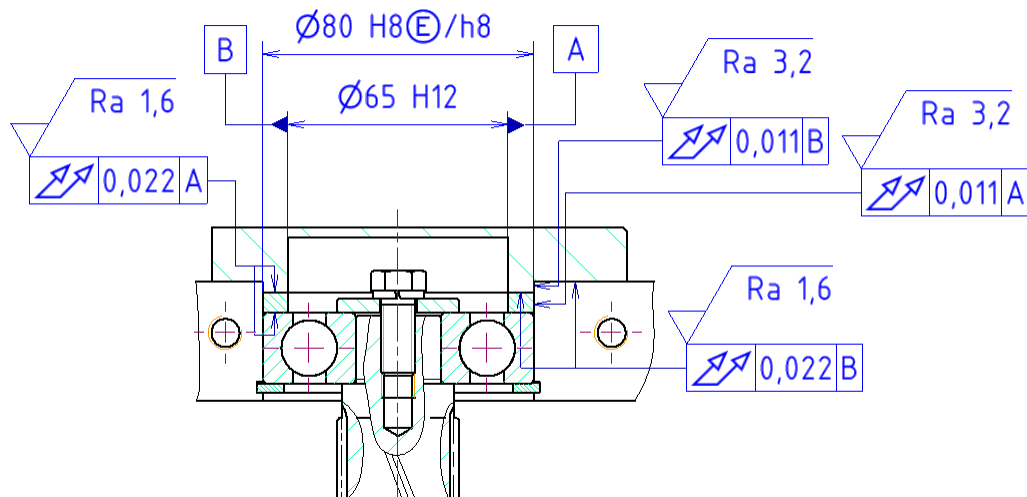
Dle kapitoly 3.9 drsnost povrchu Ra hřídele a náboje pro lisování za tepla je $1,6 \mu\text{m}$. Dále byla zvolena geometrická tolerance celkového házení (∇) mezi základny A–B, kde základny A a B jsou průměry pod ložisky. Velikost tolerančního pole byla zvolena $\frac{1}{2}$ minimálního přesahu spoje. Uložení lisovaného spoje je zobrazeno na obr. 4.8.



Obr. 4.8 Uložení lisovaného spoje

4.6. Uložení víček ložisek

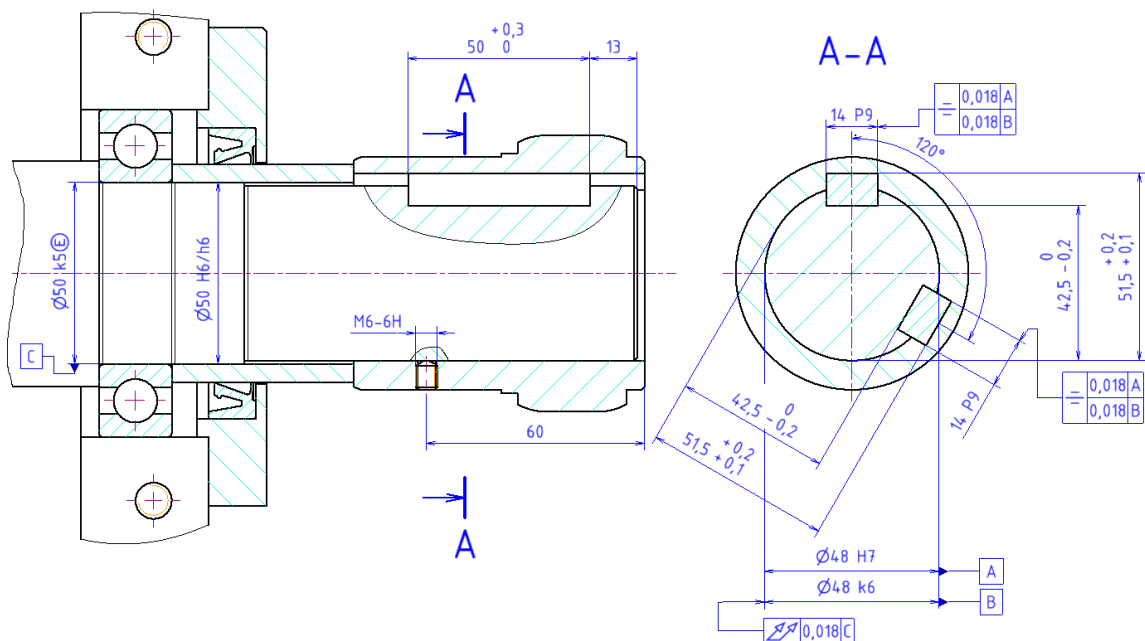
Pro uložení víček ložisek je vhodné použít uložení s vůlí z důvodu montáže a demontáže víček. Stejně uložení platí pro distanční kroužky, které slouží k vymezení vůle mezi víčkem a ložiskem. Proto bylo zvoleno uložení víček $H8(E)/h8$. Na víčka i distanční kroužky byla použita geometrická tolerance celkového házení (∇). Velikosti radiálního a axiálního házení odpovídá celkovému házení ložiskového, tudíž na vstupní hřídeli $11 \mu m$ radiální a $22 \mu m$ axiální. Drsnost byla zvolena $Ra 1,6$ na místa axiálního dotyku a $Ra 3,2$ na místa radiálního dotyku. Uložení víček a distančních kroužků je na obr. 4.9.



Obr. 4.9 Uložení víček ložisek

4.7. Uložení spojky

Univerzální zubová spojka je spojena s hřídeli pomocí dvou těsných per po 120° . Proto tolerance budou provedeny dle kapitoly 3.7. Pro geometrické tolerance souměrnosti (---) a celkového házení (↗) byla shodně zvolena velikost tolerančního pole $18 \mu\text{m}$. Uložení spojky na hřídel bylo zvoleno přechodné – $H7/k6$. Axiální pojištění je provedeno pomocí stavěcího šroubu („červík“), který může být zašroubován i do těsného pera. Uložení spojky s tolerancemi pro dvě těsná pera je zobrazeno na obr. 4.10.



Obr. 4.10 Uložení univerzální zubové spojky

5. Závěr

V úvodu této práce byla provedena rešerše tolerování, zobrazen maticový model ISO GPS a matice ISO GPS dle EN ISO 14638:2015(1995), která definuje základní pravidla a principy při definování požadavků na výrobních výkresech. Dále byl proveden rozbor rozměrových, geometrických tolerancí a požadavků na stav povrchů. U rozměrových tolerancí bylo uvedeno rozdělení tolerancí na všeobecné a toleranční soustavu, kde všeobecné tolerance se následně větví na obrobené, vyráběné ve formách, svařované, tepelně dělené a vstříkované plastové části. U toleranční soustavy byly analyzovány druhy soustav uložení a jednotlivé druhy uložení. U geometrických tolerancí byly vyjádřeny druhy tolerancí, základny, způsob zápisu a nepředepsané geometrické tolerance (přímost, rovinnost, kruhovitost, rovnoběžnost, kolmost, souměrnost a kruhové házení), které se zapisují společně s všeobecnými tolerancemi. Posledním analyzovaným typem tolerancí byly požadavky na strukturu povrchu. Zde byly vyjádřeny druhy struktur povrchu, základní pravidla a zápis struktury povrchu.

Další část práce byla zaměřena na soupis tolerancí na kupovaných dílech a na obecný postup tolerování převodovky. Tento postup byl vyjádřen na začátku kapitoly. Následně byl proveden soupis tolerancí pro ložiska, hřídelové kroužky, o-kroužky, závity, ozubení, kuželové spojení, těsná pera, drážkování a lisování. Pro každý díl bylo vyjádřeno doporučené uložení, geometrické tolerance a požadavky na stav povrchu.

V závěrečné části práce byly aplikovány poznatky na dvoustupňovou převodovku. Aplikace tolerancí byly provedeny na uložení ložisek, uložení hřídelových kroužků, uložení řemenice na vstupní hřídeli, uložení drážkování, uložení lisování a uložení univerzální zubové spojky.

Přílohy této práce obsahují technickou zprávu návrhu dvoustupňové převodovky, návrhový výkres převodovky, výrobní výkresy hřídelí a ozubených kol.

Zadanými cíli byl rozbor a návrh tolerancí na dvoustupňové převodovce. Rozbor tolerancí byl proveden v kapitole 2 a 3, kde v kapitole 3 byly zpracovány tolerance kupovaných dílů od výrobců. Návrh tolerancí byl proveden v kapitole 4, kde se jednotlivé tolerance aplikovaly na díly v převodovce. Tyto tolerance jsou následně znázorněny v návrhovém výkresu převodovky a ve výrobních výkresech hřídelí a ozubených kol, které jsou k dispozici v uvedených přílohách. Zadané cíle se podařilo v rozsahu bakalářské práce naplnit.

Seznam použité literatury

- [1] SLANEC, Karel. *Konstruování: geometrická přesnost výrobků 1., 2. a 3. díl*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-02864-X.
- [2] PETR, Karel. *Přednášky ze Zpracování technické dokumentace* [online]. Praha, 2017 [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <https://seps.fs.cvut.cz/ZTD>. Školící materiál. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.
- [3] ISO/TC 213. *International Organization for Standardization* [online]. Geneva, 2018 [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: <https://www.iso.org/home.html>
- [4] PETR, Karel. *Přednášky ze Strojírenského konstruování I* [online]. Praha, 2017 [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <https://seps.fs.cvut.cz/SK1>. Přednášky. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.
- [5] PETR, Karel. *Přednášky ze Strojírenského konstruování II* [online]. Praha, 2017 [cit. 2018-03-05]. Dostupné z: <https://seps.fs.cvut.cz/SK2>. Přednášky. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.
- [6] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [7] POSPÍCHAL, Jaroslav. *Technické kreslení*. 4., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05595-3.
- [8] ČSN EN ISO 1101. Geometrické specifikace produktu (GPS) - Geometrické tolerování – Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení. 4. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2017.
- [9] KUGL, Otmar. *Projekt: III. ročník*. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-01-01638-2.
- [10] Volba valivého ložiska. In: *MITCalc* [online]. Děčín: MITCalc, ©2013-2017 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: http://www.mitcalc.cz/doc/help/cz/c_bearing_choice.htm
- [11] Proces volby ložiska. *SKF CZ* [online]. Praha: SKF, 2018 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/principles/bearing-selection-process/index.html>
- [12] Ložiska, ložiskové jednotky a tělesa. *SKF CZ* [online]. Praha: SKF, 2018 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/index.html>
- [13] Volba uložení. *SKF CZ* [online]. Praha: SKF, 2018 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/principles/bearing-selection-process/bearing-interfaces/selecting-fits/index.html>
- [14] Uložení ložisek pro standardní podmínky. *SKF CZ* [online]. Praha: SKF, 2018 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/principles/bearing-selection-process/bearing-interfaces/tolerances-for-standard-conditions/index.html>



- [15] Tolerance úložných a opěrných ploch ložisek. SKF CZ [online]. Praha: SKF, 2018 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/principles/bearing-selection-process/bearing-interfaces/tolerances-for-bearing-seats-and-abutments/index.html>
- [16] *Těsnící prvky* [online]. Náchod: RUBENA, 2015 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.rubena.cz/cz/ke-stazeni/katalogy/>
- [17] Hřídelové těsnící kroužky. SKF CZ [online]. Praha: SKF, 2018 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/seals/industrial-seals/power-transmission-seals/radial-shaft-seals/index.html>
- [18] ŠVEC, Vladimír. *Části a mechanismy strojů: spoje a části spojovací*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02533-0.
- [19] *Podklady ke cvičení z Části a mechanismů strojů I.* [online]. Praha, 2014 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://seps.fs.cvut.cz/ČMS1>. Podklady ke cvičení. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.
- [20] *Způsoby řešení rozměrových obvodů* [online]. Praha, 2017 [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/70566>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.

Seznam obrázků

Obr. 2.1 Porovnání tolerančních polí pro všeobecné tolerance	6
Obr. 2.2 Grafické znázornění 3 základních druhů rozměrů [5] – upraveno	8
Obr. 2.3 Schématické zobrazení poloh tolerančních polí [5] – upraveno.....	9
Obr. 2.4 Grafické znázornění případů uložení v soustavě jednotné díry	10
Obr. 2.5 Umístění základen pro kruhové tvary i pro rovinné plochy	12
Obr. 2.6 Způsob zápisu geometrických tolerancí ve výkresové dokumentaci	13
Obr. 2.7 Značky stavu povrchu	15
Obr. 2.8 Úplná značka stavu povrchu	15
Obr. 2.9 Příklady různých typů drsností na neúplném výkrese hřídele	16
Obr. 3.1 Typy valivých elementů valivých ložisek [10]	18
Obr. 3.2 Umístění tolerance celkového házení na hřídeli [15].....	20
Obr. 3.3 Umístění tolerance celkového házení v tělese [15].....	20
Obr. 3.4 Schéma principu těsnění hřídelového těsnění [16].....	21
Obr. 3.5 Doporučené hodnoty obvodového házení [17] - upraveno	23
Obr. 3.6 Doporučené hodnoty sousostí [17] - upraveno	23
Obr. 3.7 Zaoblení a sražen hran hřídele dle SKF [17]	24
Obr. 3.8 Sražení hrany tělesa dle SKF [17].....	24
Obr. 3.9 Princip těsnění pomocí o–kroužků [16].....	25
Obr. 3.10 Těsnění obdélníkové drážky [16].....	26
Obr. 3.11 Těsnící prostor pro lichoběžníkovou drážku [16].....	26
Obr. 3.12 Těsnící prostoru pro trojúhelníkovou drážku [16].....	26
Obr. 3.13 Zavádění sražení pro náboj a hřídel [16].....	27
Obr. 3.14 Označení závitu šroubu a matice.....	28
Obr. 3.15 Grafické znázornění poloh tolerančních polí	28
Obr. 3.16 Tolerování pastorku a kola	29
Obr. 3.17 Příklad tolerování kuželového spoje s kuželovitostí 1:10.....	30
Obr. 3.18 Příklad tolerování těsného pera	31
Obr. 3.19 Příklad zobrazení drážkování s označením	33
Obr. 3.20 Zobrazení lisovaného spoje.....	35
Obr. 4.1 Dvoustupňová převodovka se šikmými zuby	36
Obr. 4.2 Zobrazení kritických míst pro tolerování	37
Obr. 4.3 Uložení hřídele s pevným a volným ložiskem	38
Obr. 4.4 Uložení ložisek za vnější kroužky	39
Obr. 4.5 Uložení hřídelového kroužku na vstupní hřídeli	40
Obr. 4.6 Uložení řemenice na kuželovém spoji s těsným perem	41
Obr. 4.7 Uložení drážkování	42
Obr. 4.8 Uložení lisovaného spoje	43
Obr. 4.9 Uložení víček ložisek	43
Obr. 4.10 Uložení univerzální zubové spojky.....	44

Seznam tabulek

Tab. 2.1 Maticový model ISO GPS dle ISO 14638:2015 [2]	4
Tab. 2.2 Modifikátory specifikace lineárních rozměrů [5].....	7
Tab. 2.3 Všeobecné modifikátory specifikace [5]	8
Tab. 2.4 Typy geometrických tolerancí s grafickou značkou [8]	13
Tab. 2.5 Výjimky v Principu nezávislosti [1]	14
Tab. 3.1 Výběr tolerancí pro ocelové hřídele [14]	19
Tab. 3.2 Výběr tolerancí pro litinová radiální tělesa [14].....	20
Tab. 3.3 Velikosti drsností pro lisování [19]	34

Seznam příloh

PŘÍLOHA 1 – TECHNICKÁ ZPRÁVA – ČELNÍ DVOUSTUPŇOVÁ PŘEVODOVKA
(dostupná pouze elektronicky)

PŘÍLOHA 2 – Výkres č. KC-2018-B-KB-00 – PŘEVODOVKA

PŘÍLOHA 3 – Výkres č. KC-2018-B-KB-00-10 – HŘÍDEL 1

PŘÍLOHA 4 – Výkres č. KC-2018-B-KB-00-11 – HŘÍDEL 2

PŘÍLOHA 5 – Výkres č. KC-2018-B-KB-00-12 – HŘÍDEL 3

PŘÍLOHA 6 – Výkres č. KC-2018-B-KB-00-08 – KOLO 2

PŘÍLOHA 7 – Výkres č. KC-2018-B-KB-00-09 – KOLO 4