



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# PROJEKT VÝROBY PŘEVODOVÉ SKŘÍNĚ PRO NAVIJÁK

A PROJECT FOR THE PRODUCTION OF THE TRANSMISSION CASE FOR THE WINCH

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Emil Hrbáček

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2018

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Emil Hrbáček**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**  
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Projekt výroby převodové skříně pro naviják

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Téma se víceméně zabývá způsoby či možnostmi obrábění přesných děr pro uložení kluzných nebo valivých ložisek v sériové výrobě v typicky strojírenském zařízení, což je převodová skříň, v tomto případě pohánějící naviják.

### Cíle diplomové práce:

- Konstrukční řešení převodové skříně včetně montážní sestavy
- Rozbor uložení ložisek v převodové skříně
- Technologické možnosti výroby pro uložení ložisek
- Vzorové řešení výroby
- Technicko–ekonomické vyhodnocení variant výroby

### Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

KARPÍŠEK, Zdeněk. Matematika IV: Statistika a pravděpodobnost. 3. vyd. Olomučany: CERM, s. r. o., 2007. 170 s. ISBN 978-80-241-3380-9.

LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

MASLOV, Jurij Nikolajevič. Teorie broušení kovů. Praha: SNTL, 1979. 248 s.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

SHAW, Milton Clayton. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. P. 651. ISBN 0-19-514206-3.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design. 2nd edition. New York: McGRAW-HILL, 2006. p. 730. ISBN 0-07-146271-6.

ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

ZEMČÍK, Oskar. Technologická příprava výroby. Brno: CERM, s. r. o., 2002. 158 s. ISBN 80-21-2219-X.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

.....  
prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

ředitel ústavu

.....  
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

HRBÁČEK Emil: Projekt výroby převodové skříně pro naviják

---

Projekt vypracovaný v rámci inženýrského studia předkládá návrh technologie výroby přesných děr pro valivá ložiska v převodové skříně pro naviják. Na základě konstrukčního návrhu převodové skříně byly navrženy varianty výrobní technologie. Zvolenými technologiemi jsou vyvrtávací operace, které byly prováděny na CNC obráběcím centru DMF 180 od společnosti DMG MORI, které umožňuje přesnou výrobu ložiskových děr. Ze dvou navržených variant výroby byla podle zvolených parametrů válcovitosti, souososti, polohy prvků a kvality povrchu vybrána vhodnější varianta výroby.

Klíčová slova: Naviják, převodovka, ložiska, vyvrtávání, přesná výroba.

## **ABSTRACT**

HRBÁČEK Emil: A Project for the production of the transmission case for the winch

---

The project elaborated within engineering studies. The project is submitting design of technology production of precise holes for rolling bearings which are located in transmission case for the winch. Variants of production technologies were designed based on the construction drawings of transmission case. Chosen type of technology is boring. Boring was performed on the CNC machine DMF 180 produced by DMG MORI. DMF 180 allows precise production of bearings holes. Via selected criteria, it was selected the better variant of two. The criteria were: cylindricality, cohesiveness, position of elements and surface quality.

Keywords: Winch, transmission, bearings, boring, precise production.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRBÁČEK Emil: *Projekt výroby převodové skříně pro naviják*. Brno, 2018. 76 s., 20 příloh. CD. Diplomová práce Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie obrábění. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

### ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V ..... dne 22.5.2018

.....  
Podpis

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Milanu Kalivodovi z VUT v Brně za vedení a rady týkající se zpracování diplomové práce.

Dále děkuji panu Ing. Vojtěchu Poláčkovi z firmy Kovo Staněk, s.r.o. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

## Obsah

Abstrakt.....	4
Bibliografická citace.....	5
Čestné prohlášení.....	6
Poděkování.....	7
ÚVOD .....	10
1 ROZBOR KONSTRUKCE NAVIJÁKU A JEHO ČÁSTÍ .....	11
1.1 Naviják .....	11
1.2 Převodovka.....	12
1.3 Ozubené převody.....	13
1.3.1 Šnekové soukolí .....	14
2 ROZBOR ULOŽENÍ LOŽISEK.....	15
2.1 Ložiska .....	16
2.1.1 Tření .....	17
2.1.2 Kluzná ložiska .....	18
2.1.3 Valivá ložiska.....	19
2.1.5 Těsnění valivých ložisek .....	20
2.1.7 Geometrické tolerance.....	23
2.1.8 Kvalita povrchu .....	25
2.1.9 Trvanlivost ložisek .....	29
3 TECHNOLOGICKÉ MOŽNOSTI VÝROBY ULOŽENÍ PRO LOŽISKA .....	32
3.1 Vrtání a vyvrtávání.....	32
3.1.1 Vrtání.....	33
3.1.2 Vyvrtávání.....	34
3.2 Varianty výroby děr v tělese převodovky s ohledem na požadovanou přesnost.....	41
3.2.2 Varianta A .....	42
3.2.1 Varianta B .....	43
4 VZOROVÉ ŘEŠENÍ VÝROBY .....	44
4.1 Obráběcí stroj .....	44
4.2 Přístroj pro měření kvality povrchu.....	45
4.3 Měřicí zařízení.....	46
4.4 Obráběný materiál .....	47
4.5 Použité nástroje .....	47
4.5.1 Vrták CoroDrill 880-D0840V80-03 .....	47



---

4.5.2 Vyvrťovací hlava CoroBore BR20-116CC12F-C6 .....	48
4.5.3 Vyvrťovací hlava CoroBore 826-112TC11-C6HP .....	50
4.5.4 Prodlužovací adaptér Coromant Capto C6-391.01-63 185 .....	51
5 TECHNICKO-EKONOMINCKÉ ZHODNOCENÍ .....	52
5.1 Měření a vyhodnocení struktury povrchu .....	52
5.2 Vyhodnocení geometrických tolerancí předepsaných výkresovou dokumentací .....	55
5.2.1 Vyhodnocení pomocí statistiky .....	56
5.2.2 Vyhodnocení průměrů děr .....	57
5.2.3 Vyhodnocení válcovitosti děr .....	59
5.2.4 Vyhodnocení souososti děr .....	62
5.3 Výrobní čas .....	63
5.4 Cena nástrojů .....	63
5.5 Řezné podmínky .....	64
6 DISKUSE .....	65
6.1 Ekologie .....	65
6.2 Životnost a výměna ložisek, servis .....	65
ZÁVĚRY .....	66
Seznam použitých zdrojů .....	67
Seznam použitých symbolů .....	72
Seznam příloh .....	76

## ÚVOD

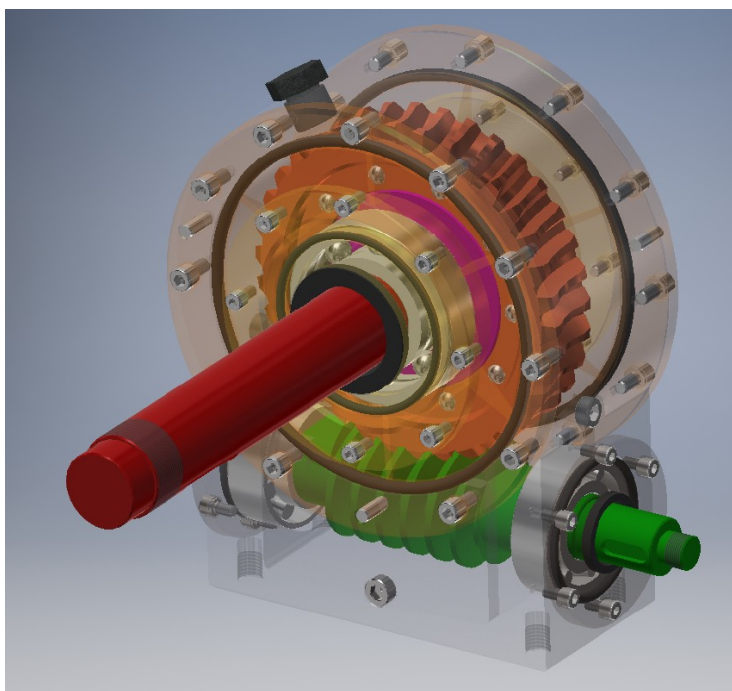
Území České republiky pokrývá v dnešní době nejvíce lesních ploch od 18. století, v tomto století se začalo v lesích regulérně hospodařit a došlo k nastavení legislativního rámce lesního hospodaření. V šedesátých letech minulého století došlo ke značné mechanizaci těžby dřeva, došlo ovšem také k růstu rozlohy lesů. V loňském roce těžba dřeva dosáhla 17,6 milionů m<sup>3</sup> dřeva, proto dochází k čím dál větší mechanizaci lesní těžby. Z toho plyne, že je nutnost zabývat se vývojem nových technologií a zdokonalování současných metod těžby dřevin [3,12,18].

Těžba dřeva je složitý proces, který se skládá z několika etap. Porážení dřevin určených k vlastní těžbě, odvětvování a dělení kmenů stromů. Následující operací je manipulace s připravenými kmeny stromů. Zde lze nalézt široké uplatnění velkého množství strojních zařízení, mezi něž patří lanový naviják. Naviják je téměř vždy připojen k nějakému typu lesnického zařízení, například traktoru. Tím se stává lanový naviják velice univerzálním zařízením, jež je schopno přibližovat těžké kmeny stromů k místu manipulace, tedy na místo, kde je vhodnější terén [9,48].

Lanový naviják je určen ke zdvihání nebo přibližování těžkých břemen, tažná síla navijáku záleží na jeho konstrukci. Každý lanový naviják je vybaven nějakým typem převodu, který má určitý převodový poměr. Tento poměr pak určuje jeho pracovní rozsah. U navijáků s největší tažnou silou se používá několik po sobě následujících převodů, nebo může být s konstrukční výhodou použit šnekový převod [9,48].

Šnekový převod se používá pro velké převodové poměry. Šnekové kolo je uloženo na hřídeli nebo je její součástí, stejně tak šnek. Tyto hřídele musí být rotačně uloženy, toho se dosahuje ložisky, ať už valivými nebo kluznými. Ložiska je nutno správně a přesně ustavit v převodové skříni [49].

Cílem této práce je navrhnout konstrukční řešení svařované převodové skříně pro naviják a následně vhodnou technologii výroby a nejvýhodnější výrobní variantu pro výrobu ložiskových děr v tělese převodové skříně.



Obr. 1.0 Převodová skříň se šnekovým převodem

# 1 ROZBOR KONSTRUKCE NAVIJÁKU A JEHO ČÁSTÍ

## 1.1 Naviják

Naviják je stroj, který převádí rotační pohyb na pohyb přímočarý. Převádí točivý moment stroje na tažnou sílu navijáku. U těchto zařízení se požaduje především velká tažná síla, stálý výkon a dlouhá životnost. Navijáky se dělí dle pohonu na elektrické, hydraulické a mechanické. Mechanické navijáky se v dnešní době již moc nepoužívají [9,48].

Elektrické navijáky (obr.1.1) slouží jako vhodná alternativa k navijákům hydraulickým a mechanickým. Výhodou elektrických navijáků je nižší pořizovací cena, snadná manipulace a instalace. Mezi jejich nevýhody patří nižší tažná síla a nutnost pravidelných přestávek, aby nedocházelo k poškození přehřátím elektromotoru. Elektrické navijáky jsou vhodné například do halových jeřábů a jiných zvedacích zařízení, jelikož zde nedochází k příliš častému navijení a odvíjení [9,48].



Obr. 1.1 Elektrický naviják Golemwinch [26]

Hydraulické navijáky patří v dnešní době v lesnictví k drtivě většině používaných zařízení. Hydraulické navijáky jsou dvojího typu:

- Prvním typem je naviják přímo poháněný okruhem traktoru. Jedná se o jednoduchou konstrukci s výhodou rychlé montáže a demontáže pomocí hydraulických hadic,
- Druhým typem je naviják s vlastním hydraulickým okruhem. (obr.1.2) Tento typ je poháněn ozubeným nebo řetězovým převodem z vývodové hřídele traktoru. Takováto konstrukce je poměrně složitá na montáž, ale nezatěžuje vlastní hydraulický okruh stroje, který může být využit k dalším nadstavbám traktoru [9,27,48].



Obr. 1.2 Naviják 5002 PENTO [24]

## 1.2 Převodovka

Převodovka (obr. 1.3) je strojní zařízení, jehož hlavním úkolem je změna převodu mezi hnanou a hnací částí stroje, u navijáku je vstupním členem vývodová hřídel traktoru a výstupním je hřídel, na které je buben, který navíjí lano. Zároveň se mění kinetické a silové parametry, dochází zejména ke změně točivého momentu a obvodové rychlosti. Převodovky lze dělit podle různých kritérií, například podle kinetiky, převodového poměru, konstrukce skříně nebo podle přenosu energie [15,16,19,49].

Rozdělení převodovek podle kinetiky pohybu:

- rotační pohyb na rotační pohyb,
- rotační pohyb na lineární pohyb,
- lineární pohyb na lineární pohyb.

Rozdělení převodovek podle přenosu energie:

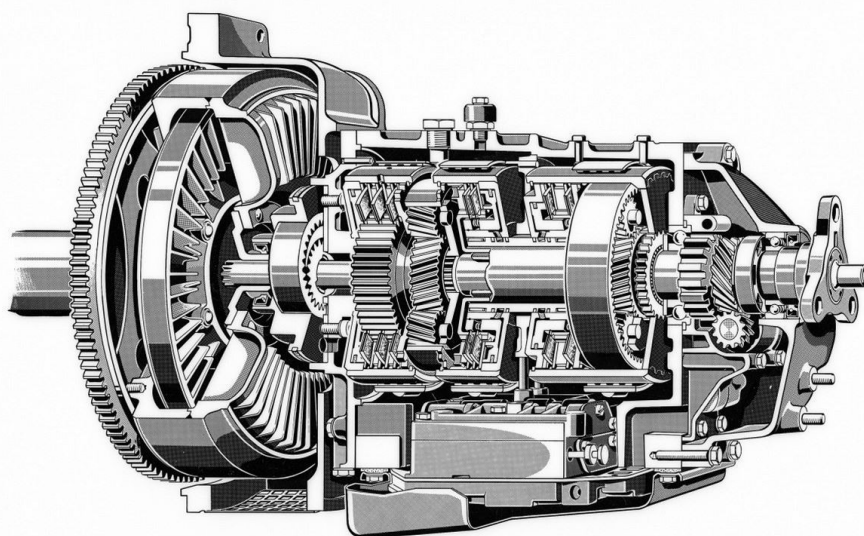
- obousměrné – vstup a výstup převodovky lze zaměnit (např. jednostupňová převodovka),
- jednosměrné – vstup a výstup je předem daný (např. automobilová převodovka),
- samosvorné – neumožňuje přenos výkonu obousměrně (např. šneková převodovka).

Rozdělení převodovek podle převodového poměru:

- s konstantním převodovým poměrem – jednostupňová převodovka,
- s proměnným převodovým poměrem – s plynulým převodem (variátor),  
– se stupňovitým převodem.

Rozdělení převodovek podle typu vazby mezi členy:

- hydraulické,
- pneumatické,
- mechanické – přímé – ozubené převody,  
– nepřímé – klínový řemen, ozubený řemen.



Obr. 1.3 První čtyřstupňová automatická převodovka Mercedes-Benz [11]

### 1.3 Ozubené převody

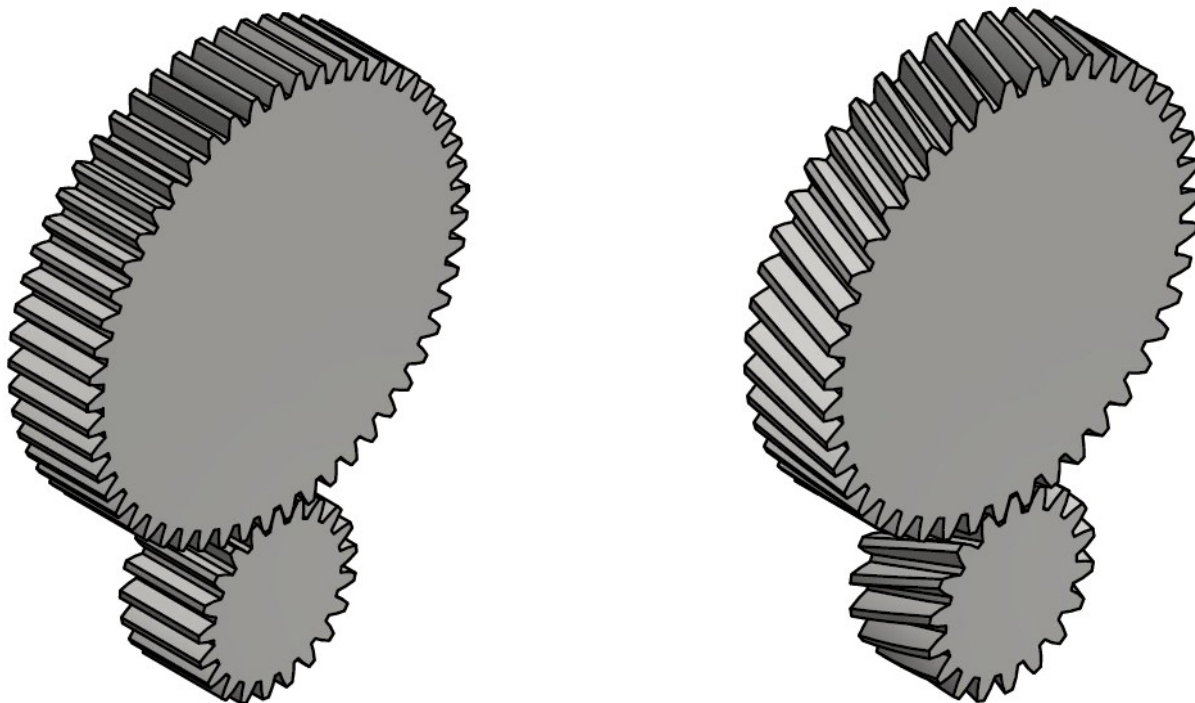
Převody ozubenými koly jsou jedním z nejvýznamnějších a nejrozšířenějších druhů převodových mechanismů, patří mezi přímé mechanické převody. Pro tento typ převodu je charakteristické ozubení, které se skládá ze zubů s přesně definovanou geometrií. Při záběru dvou nebo více ozubených kol, kterému se říká soukolí, dochází k tomu, že zub jednoho ozubeného kola zapadá do zubové mezery kola druhého. Dochází zde ke styku boků zubů, tímto stykem se přenáší otáčivý pohyb z hnacího kola na kolo hnané, tvar boků se volí tak, aby došlo k co nejvýhodnějším kinematickým a dynamickým poměrům. Používají se různé velikosti a typy ozubených kol, pro různé účely. Ze vzájemné polohy hřídelů pak vyplývá tvar a velikost ozubení [15,16,19,49].

Nejčastějším typem převodů jsou ozubená kola, která mají rovnoběžné osy a vnější válcové evolventní ozubení. Jejich výroba je nejméně nákladná a nejméně náročná oproti jiným druhům ozubených kol. Avšak mají svá omezení, proto se používají různé varianty převodů [15,16,19,49].

Ozubená kola jsou charakterizována modulem ozubení. Je to nejdůležitější parametr, který určuje část průměru roztečné kružnice připadající na jeden zub [15,16,19,49].

Rozdělení ozubených převodů:

- dle polohy ozubení – s vnitřním ozubením, s vnějším ozubením,
- dle vzájemné polohy os – rovnoběžné osy, různoběžné osy, mimoběžné osy,
- dle druhu křivky profilu zubu – evolventní, cykloidní, hypoidní,
- dle tvaru boční křivky – přímé zuby, šikmé zuby, šípové zuby (obr. 1.4).



a)

b)

Obr. 1.4 Čelní ozubení a) s přímými zuby, b) se šikmými zuby

### 1.3.1 Šnekové soukolí

Šnekové soukolí (obr.1.5) je zvláštním případem šroubového soukolí, kde je počet zubů hnacího kola, tzv. šneku, obvykle od jedné do tří. Šnek tím pádem svým tvarem připomíná jedno nebo vícechodý šroub. Spoluzabírajícím kolem je tzv. šnekové kolo, které má vždy větší průměr než šnek. Tento typ soukolí přenáší pohyb mezi mimoběžnými hřídeli, a to nejčastěji s úhlem  $90^\circ$  [15,16,19,49].

Dělení šnekových soukolí:

- s válcovým šnekem a válcovým šnekovým kolem,
- s válcovým šnekem a globoidním šnekovým kolem,
- s globoidním šnekem a globoidním šnekovým kolem.

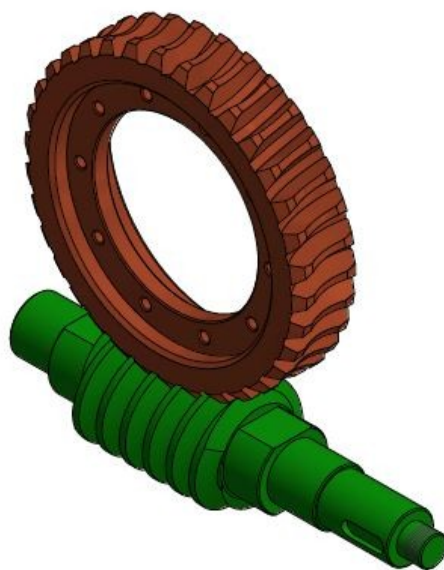
Pro přenos největších točivých momentů a největších sil se používá soukolí, kde je globoidní jak šnek, tak i šnekové kolo. Tento typ je ovšem velice náročný na přesnost při výrobě, proto je nejvíce používaným typem šnekového soukolí válcový šnek s globoidním šnekovým kolem [15,16,19,49].

Výhody šnekových převodů oproti kuželovým a čelním ozubeným převodům:

- klidný a tichý chod,
- velké převodové poměry  $i=10$  až  $80$ ,
- menší rozměry,
- nižší cena,
- samosvornost převodu při větších převodových poměrech.

Nevýhody šnekových převodů oproti kuželovým a čelním ozubeným převodům:

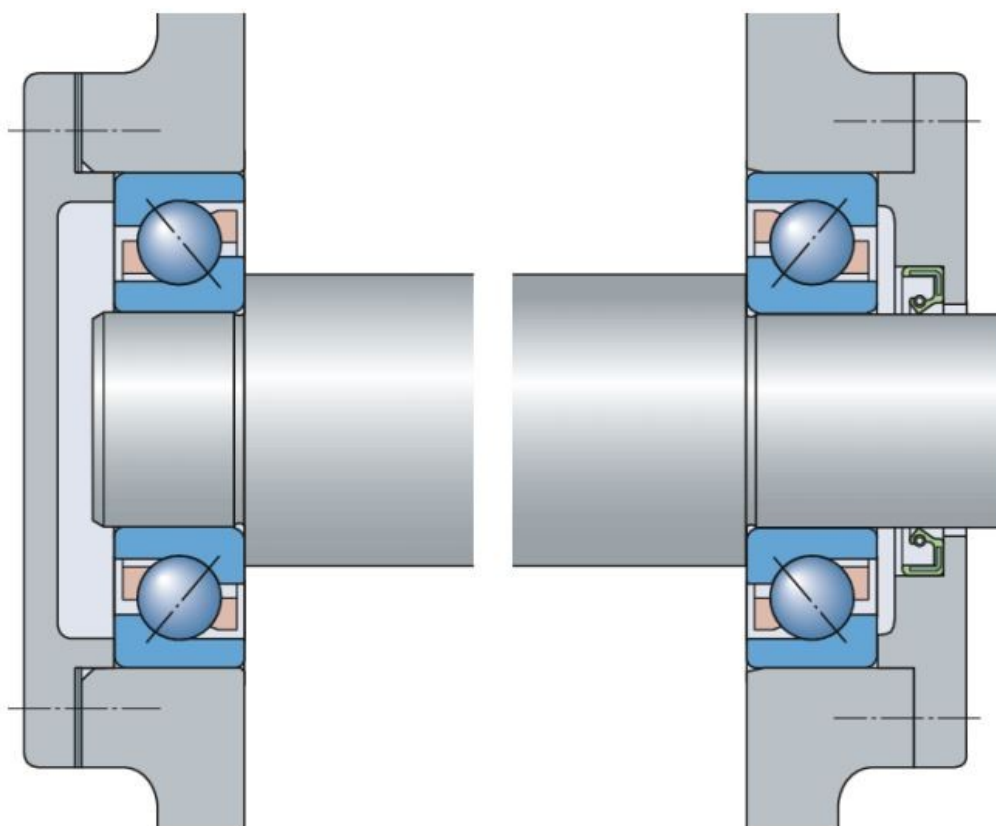
- nižší účinnost,
- nižší životnost,
- vznik tepla při delším provozu.



Obr. 1.5 Šnekové soukolí s globoidním šnekovým kolem

## 2 ROZBOR ULOŽENÍ LOŽISEK

Ložiska jsou nedílnou součástí převodových skříní a téměř všech rotačních strojů (obr. 2.1). Vhodné umístění v těle převodovky je klíčové ke správné funkci ložiska. Ložiska musí být ustavena do požadovaných poloh s určitou přesností; toho se docíluje různými způsoby, například rozpěrnými kroužky. Poloha a přesnost ostatních součástí musí umožňovat co nejjednodušší montáž a demontáž ložisek. Dále je ložiska potřeba mazat, aby v nich nedocházelo k suchému tření a tím k výraznému opotřebování ložiskových částí. Správným mazáním lze značně prodloužit životnost ložisek a tím i převodovky a všech jejích součástí. Při důkladném mazání je však nutno utěsnit převodovou skříň, nejčastěji je toho potřeba v místech, kde vystupují hřídele, nebo v místech spojení různých dílů převodovky [15,16,19,52,65].



2.1 Obr. Rotační uložení hřídele pomocí ložisek [52]

Pro jakýkoliv zadaný projekt je potřeba vzít v úvahu jak z konstrukčního, tak z technologického hlediska následující parametry:

- typy ložisek,
- velikost ložisek,
- počet ložisek,
- upevnění ložisek,
- uložení ložisek
- mazání ložisek,
- montáž a demontáž ložisek.

## 2.1 Ložiska

Při styku dvou a více se po sobě pohybujících součástí dochází ke tření, to se projevuje snížením účinnosti stroje, což je průvodní jev ztráty mechanické energie. Ložiska umožňují nejčastěji otáčivý pohyb, přenos momentů a sil mezi součástmi. Bez ložisek by docházelo ke styku těchto součástí a tím i ke značnému tření. Tření se rozděluje dle druhu relativního pohybu na kluzné a valivé, z toho plyne kluzné a valivé opotřebení. Pro minimalizování třecích ztrát se používají ložiska a vhodné mazivo [15,16,20,52].

Rozdělení ložisek do dvou základních skupin:

- kluzná,
- valivá.

Rozdělení ložisek dle směru zatížení:

- axiální,
- radiální.

Axiální ložiska přenášejí zatěžující síly ve směru osy hřídele, čepu případně jiných součástí vhodného tvaru. Naopak radiální ložiska slouží pouze pro přenos sil ve směru radiálním. Radiálním směrem je směr kolmý k ose hřídele [15,17,19].



Obr. 2.2 Ložiska [29]



### 2.1.1 Tření

Fyzikální jev, ke kterému dochází při pohybu se nazývá tření. Jedná se o odpor proti pohybu součástí, které jsou spolu v relativním pohybu. Při kluzném tření (obr. 2.3 a) vzniká třecí síla, která je rovnoběžná se směrem pohybu součástí, její velikost závisí na třecím koeficientu  $f$ , popsána rovnicí (2.1). Koeficient je závislý na druhu materiálu, kluzné rychlosti a způsobu mazání. U valení vzniká valivé tření (obr. 2.3 b), vzniká mezi tělesy kruhového průřezu. valivé tření má mnohem menší hodnotu než tření kluzné. Valivé tření je závislé na poloměru valivého tělesa a ramenu valivého odporu, které určuje posun reakční síly a je popsáno rovnicí (2.2). Vzájemnou interakcí těles, tj. problematikou kluzného a valivého tření a opotřebením ložisek se zabývá vědní obor zvaný tribologie [1,61].

Vztah pro výpočet třecí síly:

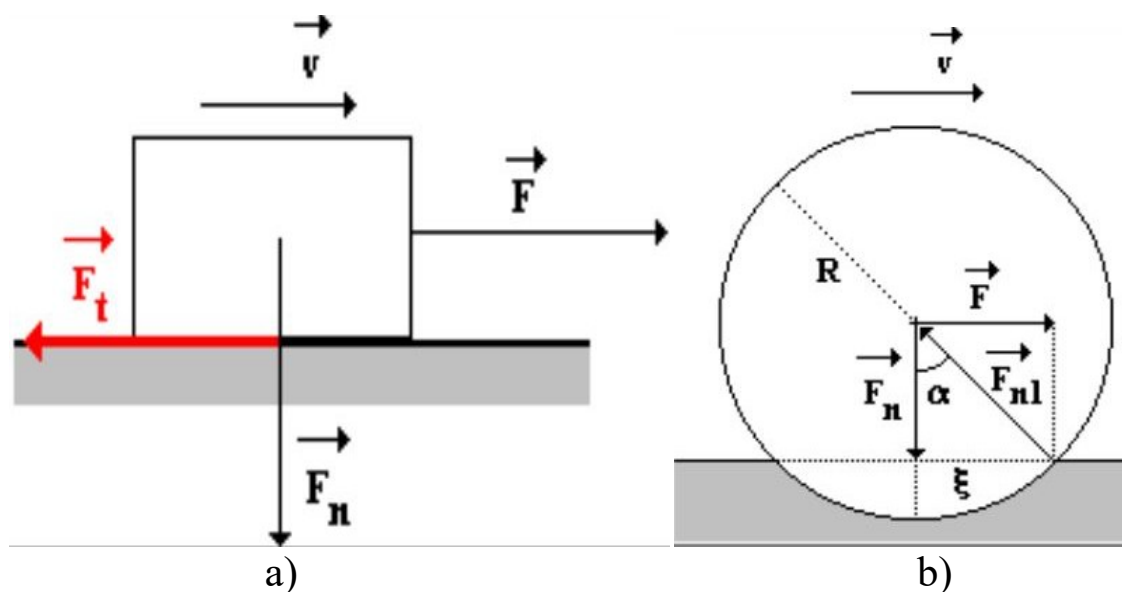
$$F_t = f \cdot F_n \text{ [N]} \quad (2.1)$$

kde:  $F_t$ ...třecí síla [N]  
 $f$  ... součinitel tření [-]  
 $F_n$  ... normálová síla [N]

Vztah pro výpočet odporové síly:

$$F_v = \frac{\xi}{R} \cdot F_n \text{ [N]} \quad (2.2)$$

kde:  $F_v$ ...odporová síla [N]  
 $R$  ... poloměr tělesa [mm]  
 $F_n$  ... normálová síla [N]  
 $\xi$  ... rameno valivého odporu [mm]



Obr. 2.3 Třecí síly [1] a) kluzné tření, b) valivé tření

### 2.1.2 Kluzná ložiska

Kluzné ložisko (obr. 2.4) je v kontaktu s hřídelí, a to prostřednictvím pouzdra, které udržuje hřídel v dané poloze bez omezení rotačního či posuvného pohybu. Povrch hřídelových čepů zapadajících do ložiskového pouzdra bývá ve většině případů cementován, nitridován, popřípadě povrchově kalen. Tyto povrchové úpravy bývají obvykle dosti nákladné, proto je vhodnější převést veškeré opotřebení do pouzdra, které je levnější na výrobu a jednoduché na montáž a demontáž. Kluzná ložiska mají na rozdíl od ložisek valivých schopnost přenášet nárazové zatížení. Hlavním činitelem životnosti a spolehlivosti chodu je správné mazání. I když jsou valivá ložiska rozšířenější než dříve, nelze jimi úplně nahradit kluzná ložiska [15,17,19,54,65].

Výhody kluzných ložisek:

- jednoduchá montáž a demontáž,
- jednoduchá konstrukce,
- klidný a tichý chod, zejména pro vysoké otáčky,
- snáší rázové tření.

Nevýhody kluzných ložisek:

- kvalitní mazání,
- přesná výroba,
- dražší materiály.



Obr. 2.4 Kluzné ložisko [59]

Kluzná ložiska lze dělit více hledisek:

- dle charakteristik tření:
  - a) mezní tření – nastává u nemazaných povrchů nebo při velmi malé tloušťce maziva,
  - b) smíšené tření – trvalé nebo občasné dotyky povrchových nerovností,
  - c) kapalinové tření – povrchy odděleny vrstvou maziva.
- dle směru zatěžující síly:
  - a) axiální – přenos sil kolmých na osu ložiska,
  - b) radiální – přenos sil rovnoběžných s osou ložiska,
  - c) kombinované – přenos radiálních i axiálních sil.

### 2.1.3 Valivá ložiska

U valivých ložisek (obr. 2.5) dochází k valivému tření namísto tření kluzného. Valivé ložisko se zpravidla skládá z vnitřního a vnějšího kroužku, valivých těles a klece pro vedení valivých těles. Valivá tělesa a kroužky ložisek jsou vyráběny z jakostních legovaných ocelí, jsou kaleny a broušeny. Klec ustavuje valivá tělesa do správné polohy a zajišťuje rovnoměrné rozložení [15,17,19,54,65].

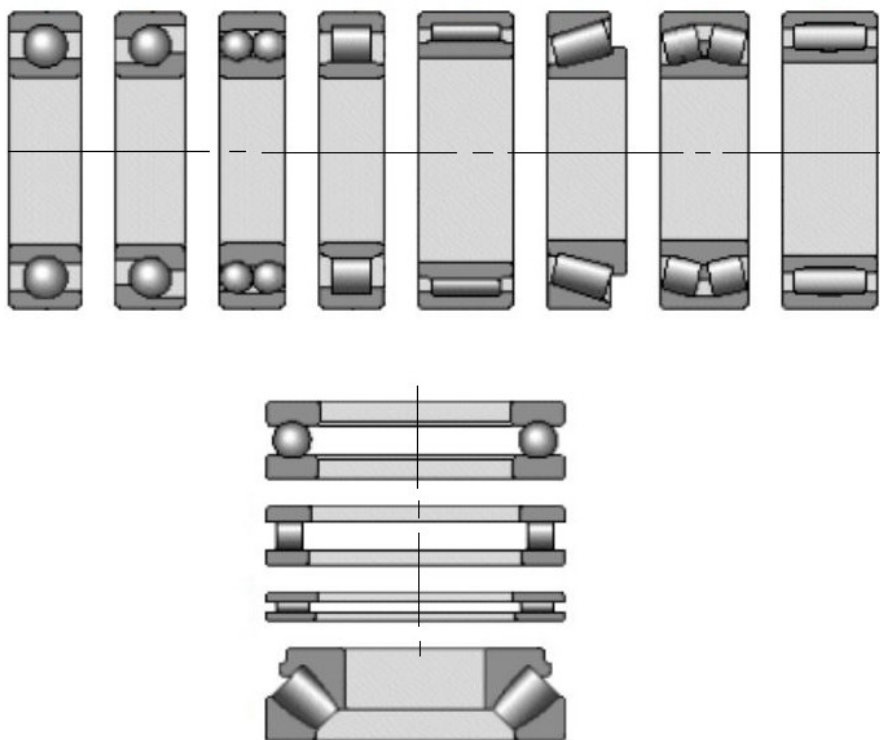
Podle tvaru valivých těles rozlišujeme ložiska:

- kuličková,
- válečková,
- jehlová,
- soudečková,
- kuželíková.

Podle konstrukčního uspořádání valivých těles:

- jednořadé,
- dvouřadé,
- víceřadé.

Dále valivá ložiska rozdělujeme podle rozměrových skupin, stupně přesnosti, únosnosti, vnitřního uspořádání apod.



Obr. 2.5 Druhy valivých ložisek [20]

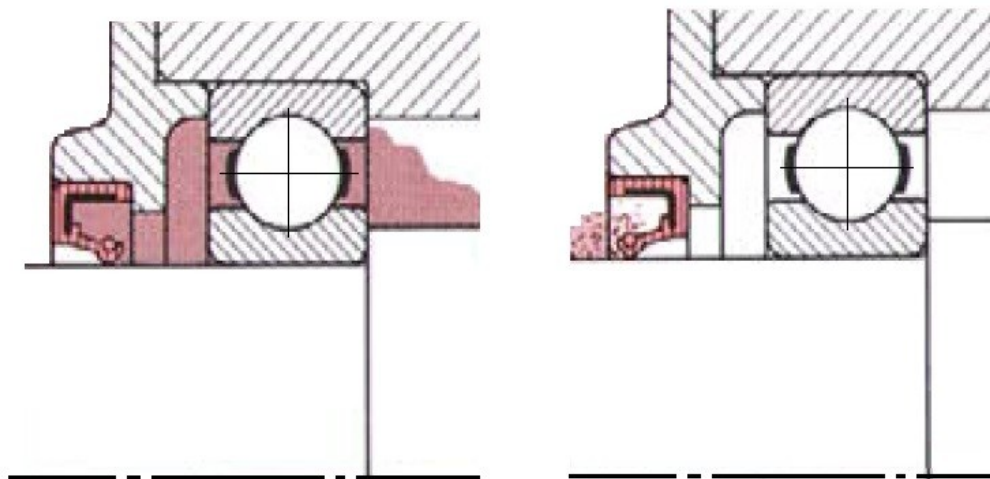
### 2.1.4 Upevnění valivých ložisek

Pokud na ložisko nepůsobí nárazová radiální síla nebo síla v axiálním směru, pak není zpravidla nutno ložisko pojistit, jelikož drží třením díky správně zvolenému přesahu. Pokud je ovšem působící síla i v axiálním směru, potom je nutno použít nějaký způsob pojištění.

Valivá ložiska se v axiálním směru pojišťují pomocí rozpěrných kroužků, pojistných kroužků, matic KM a podložek MB. Když na ložisko nepůsobí axiální síla ani síla nárazová v radiálním směru, pak není potřeba toto ložisko nijak pojistit, protože drží na hřídeli (v díře) s vhodným přesahem třením. [16,54,60]

### 2.1.5 Těsnění valivých ložisek

Ložiska je nutno mazat, a to především pro snížení tření a zlepšení odvodu tepla. Hlavní úlohou těsnění je zabránit úniku maziva z ložiskového prostoru a vniknutí nečistot a vlhkosti z okolního prostředí do tohoto prostoru (obr. 2.6). Ložiska se mažou tuhými plastickými mazivy nebo olejem. Plastická maziva se s výhodou používají tam, kde není možné nebo technicky vhodné použití oleje. Volba maziva závisí především na obvodové rychlosti hřídelů v převodovce a na provozní teplotě. Výhodou je, že valivá ložiska potřebují jen malé množství maziva ke správnému chodu. U strojů, kde dochází k mazání rozstříkem, tak dochází u valivých ložisek především ke chlazení. Těsnění může být například bezdotykové, kdy se vytvoří úzká štěrbina mezi součástmi (labyrintové těsnění). Dalším způsobem je třecí těsnění zhotovené z pružného materiálu, které je vloženo do předem zhotoveného vybrání v součásti, nejčastěji víku. Nejrozšířenějším způsobem třecího těsnění je břitové těsnění s prachovkou [17,51,53,57,62].



Obr. 2.6 Těsnění ložiskového prostoru [51]

Typy těsnění:

- bezdotykové,
- třecí,
- kombinované.

Bezdotykové těsnění vzniká tak, že dojde k vytvoření dlouhé úzké štěrby mezi součástmi. Těsnící účinek je možno navýšit vytvořením žlábků. Tyto žlábků jsou při montáži vyplněny plastickým mazivem. U tohoto typu těsnění nedochází k dotyku s rotační součástí, tím nedochází ke vzniku tření [17,53,57,62].

Třecí těsnění je vloženo mezi rotační a nerotační součásti v sestavě, bývá obvykle zhotoveno z pružného materiálu. Jeho nevýhodou je vznik kluzného tření zejména při vyšších obvodových rychlostech [17,53,57,62].

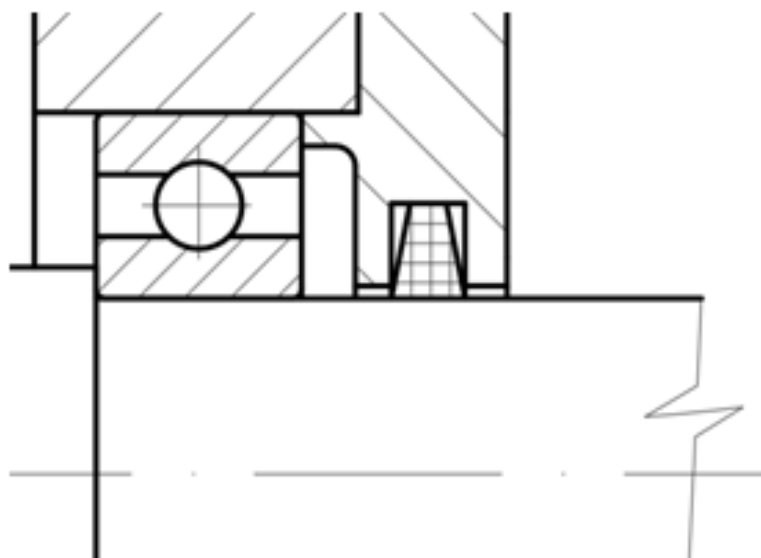
Druhy třecích těsnění:

- plstěné kroužky jsou nejjednodušším typem třecího těsnění, používají se při teplotách  $-40$  až  $+80$  °C, obvodová rychlost záleží zejména na kvalitě stykové plochy hřídele,
- těsnící kroužky z gumy a plastů mají dobrou těsnící schopnost, mohou mít různé tvary a jsou používány v různých uspořádáních (obr. 2.7),
- nejrozšířenějším typem jsou hřídelová těsnění typu G (GP) (obr. 2.8), které jsou zhotoveny ze syntetické pryže s kovovým kroužkem, který slouží jako vyztužení. Těsnící hrana je přitlačována pružinou k hřídeli.

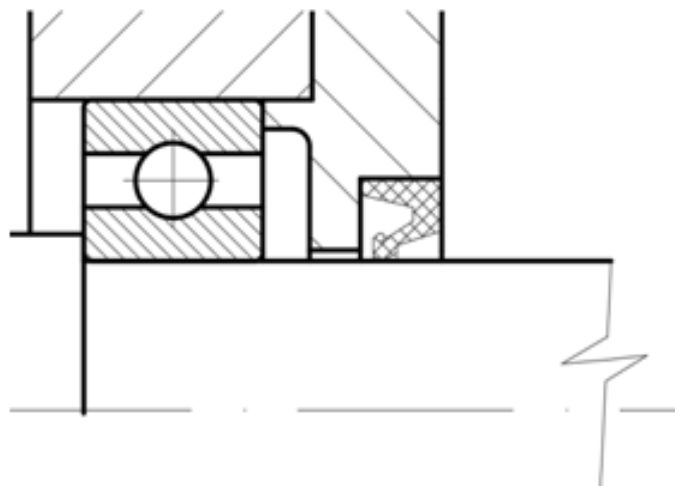
Nejčastější materiály hřídelových těsnění:

- NBR – olejivzdorná pryž s textilní vložkou nebo bez ní,
- FPM – fluorokaučuková pryž pro náročné podmínky (chemie, strojírenství, farmacie).

Těsnění tělesa, v němž je olej, popřípadě jiné látky, je důležité nejen kvůli správnému provozu a bránění vniknutí nežádoucích částic dovnitř, ale je také velmi důležité vzhledem k ekologičnosti celého zařízení. Nesmí dojít k úniku syntetických a jiných látek do okolního prostředí [17,53,57,62].



Obr. 2.7 Těsnění ložiskového prostoru pomocí těsnícího kroužku dle ČSN 02 9311



Obr. 2.8 Těsnění ložiskového prostoru pomocí  
hřídelového těsnění typu G (ČSN 02 9401)

### 2.1.6 Uložení valivých ložisek

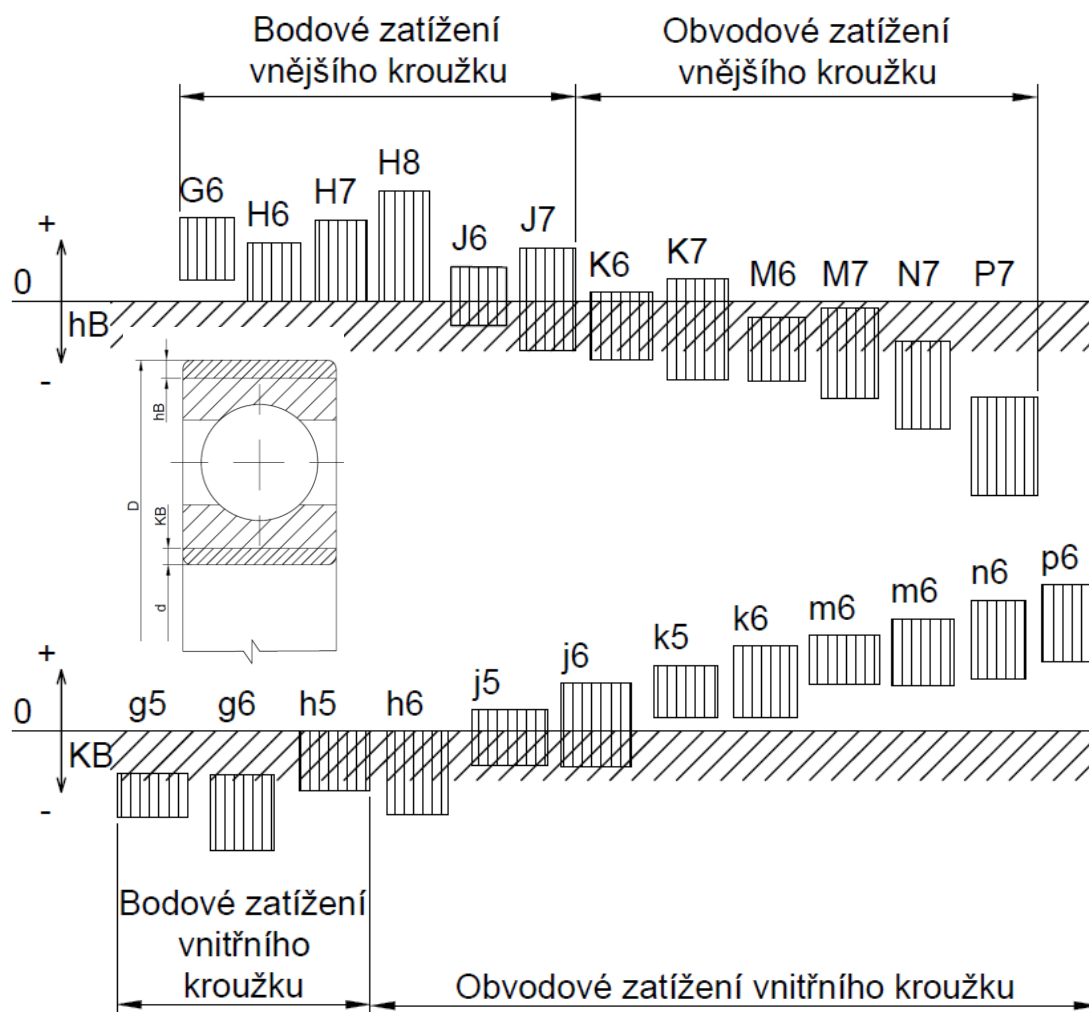
Součásti, do kterých jsou valivá ložiska uložena, a součásti, které ustavují polohu ložisek v sestavě, například hřídelové čepy nebo rozpěrná pouzdra, musí mít rozměry voleny s ohledem na to, aby styčné plochy s ložiskem byly dostatečně velké, ale zároveň nesmí přijít do styku s žádnou pohyblivou součástí ložiska. Tyto plochy, jinak nazývané připojovací rozměry, jsou pro každý typ a rozměry ložiska udávány výrobcem, a proto se mohou nepatrně lišit. Dále připojovací rozměry musí umožňovat snadnou montáž a demontáž. Správnost uložení ložiska jak na hřídeli, tak v tělese má vliv na jeho funkci, trvanlivost a využití únosnosti [15,16,19,57,65].

Vnější i vnitřní kroužek by měl být zpravidla uložen s přesahem. Pouze v takovém případě pak dochází k podepření ložiskového kroužku po jeho celém obvodu a k upevnění ložiska ve směru radiálním. Kroužek může být uložen s vůlí jen v případě, že dochází k bodovému zatížení. Tento druh zatížení nastává v případě, kdy se kroužek neotáčí a vnější síla směřuje stále do stejného místa. Nejčastějším druhem zatížení ložisek je v praxi obvodové zatížení vnitřního kroužku a bodové zatížení vnějšího kroužku (obr. 2.9)[15,16,19,57,65].

Toleranční pole vnějších průměrů a ložiskových děr jsou udávány v souladu s mezinárodními normami. Požadované uložení kroužků se dosahuje vhodnou volbou tolerančního pole připojovacích rozměrů, a to v závislosti na druhu zatížení, konstrukčního uspořádání a provozních podmínek ložisek [15,16,19,57,65].

Tab. 2.1 Hodnoty geometrických tolerancí pro valivá ložiska [65]

Stupeň přesnosti ložiska	Způsob uložení	Dovolená hodnota tolerance válcovitosti	Dovolená tolerance házení opěrných ploch
P0, P6	hřídel	IT5/2	IT3
	těleso	IT6/2	IT4
P5, P4	hřídel	IT3/2	IT2
	těleso	IT4/2	IT3



Obr. 2.9 Příklady velikosti tolerančních polí pro správné uložení ložiska na hřídeli a v díře

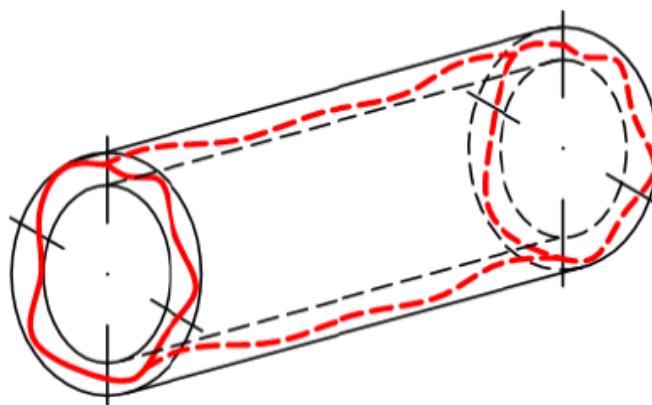
### 2.1.7 Geometrické tolerance

Při výrobě přesných děr pro ložiska je důležité dodržet geometrické tolerance (tab. 2.2), které jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci (obr. 2.11). Jelikož odchylky tvaru, házení a umístění mohou ovlivnit funkčnost součástí, nebo dokonce i celého stroje. Například u valivých ložisek je důležité dodržet kruhovitost jednotlivých částí ložiska, jinak by mohlo docházet k většímu opotřebení a navýšení hlučnosti chodu stroje. Stejně je tomu při výrobě uložení pro ložiska, je nutno dodržet válcovitost díry nebo čepu na hřídeli, jinak by mohlo dojít k nerovnoměrnému dosednutí ložiska na funkční plochy součástí. Vhodnými technologiemi takových uložení je například jemné soustružení, broušení nebo jemné vyvrtávání. Dále je při výrobě přesných ložiskových děr důležité dodržet sousost otvorů vůči sobě a jejich polohu vůči základnám, jelikož musí být dodrženy rozměry výstupních částí, na které dále navazují další součásti [17,57,62].

Tab. 2.2 Geometrické tolerance [62]

Geometrická tolerance		Značka
tvaru	přímosti	—
	rovinnosti	▭
	kruhovitosti	○
	válcovitosti	⊘
	tvaru čáry	⌒
	tvaru plochy	⌒
orientace	rovnoběžnosti	//
	kolmosti	⊥
	sklonu	∕
umístění	umístění	⊕
	soustřednosti a sousosti	⊙
	souměrnosti	≡
házení	kruhového (obvodového a čelního)	↗
	celkového (obvodového a čelního)	↗↗

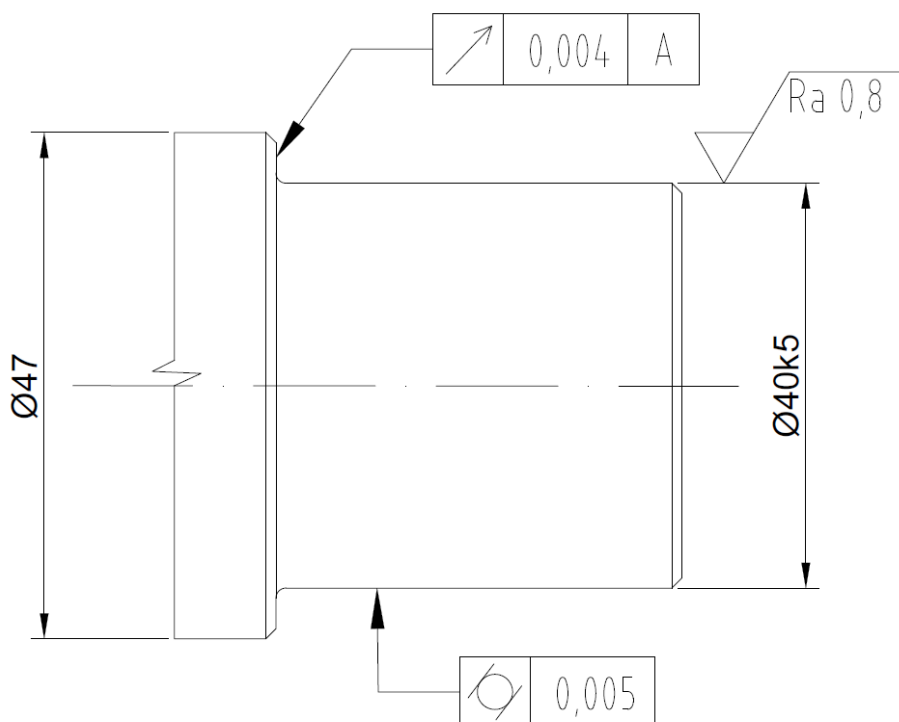
Válcovitost je pokládána za vyhovující, když vzdálenost všech prvků od obalového válce ideálního tvaru je menší nebo rovna předepsané hodnotě ve výkresové dokumentaci (obr. 2.10) [57,62].



Obr. 2.10 Toleranční pole válcovitosti [5]



Geometrické nepřesnosti připojovacích rozměrů mohou negativně ovlivnit trvanlivost ložisek, také přesnost a hlučnost chodu stroje. Proto se hodnoty geometrických tolerancí pro úložné plochy volí podstatně malé [54,60].

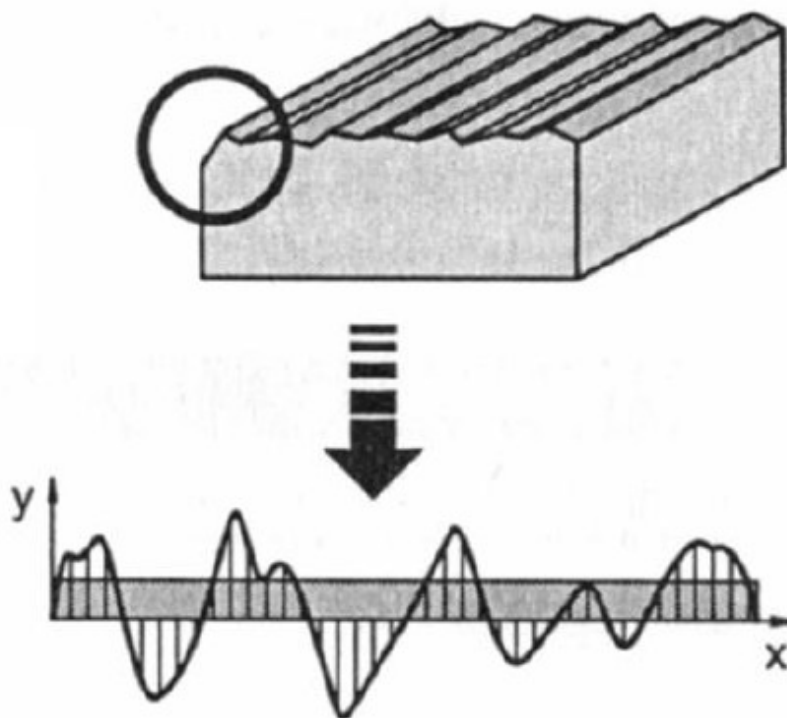


Obr. 2.11 Předepisování geometrických tolerancí na výkrese

### 2.1.8 Kvalita povrchu

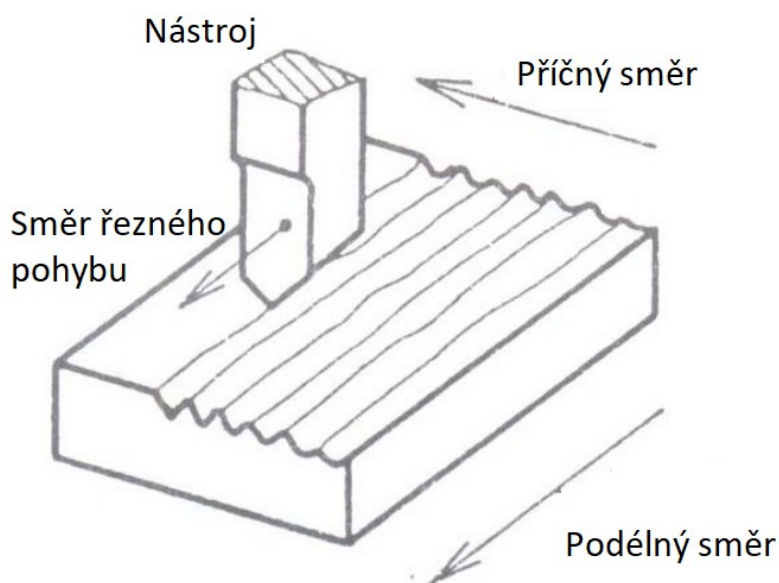
Jakost povrchu je dána technologií výroby součástí. Jedná se o malé nerovnosti na povrchu, jelikož žádný povrch není ideálně hladký (obr. 2.12). Vzniká při výrobě každé součásti. Velikosti a vlastnosti jakosti povrchu se mohou lišit v různých směrech (obr. 2.13). Jakost povrchu stykových ploch součástí může mít vliv na funkci sestavy. Kvalita povrchu je důležitá především u dynamicky namáhaných součástí. Tyto součásti se většinou začínají porušovat od povrchu, vznikají mikrotrhliny a následuje jejich šíření. Větší hodnoty parametrů popisujících jakost povrchu pak nepříznivě působí na únavovou pevnost součástí. Obecně platí, že čím lepší jakost povrchu, tím dražší výroba součástí [7,22,55,60].

Kvalita obrobeného povrchu je zapříčiněna stopami, které po sobě zanechává břit nástroje. Její stupeň závisí zejména na způsobu obrábění, vlastnostech obráběného materiálu, na geometrii a tvaru břitu nástroje. U břitu nástroje ovlivňuje nejvíce povrch obrobené plochy poloměr špičky nástroje, úhel nastavení hlavního ostří a úhel nastavení vedlejšího ostří. Z řezných podmínek je důležitým parametrem posuv na otáčku. Dále může být kvalita povrchu ovlivněna tuhostí soustavy stroj – nástroj – obrobek, opotřebením řezného nástroje nebo procesními kapalinami [7,22,55,60].



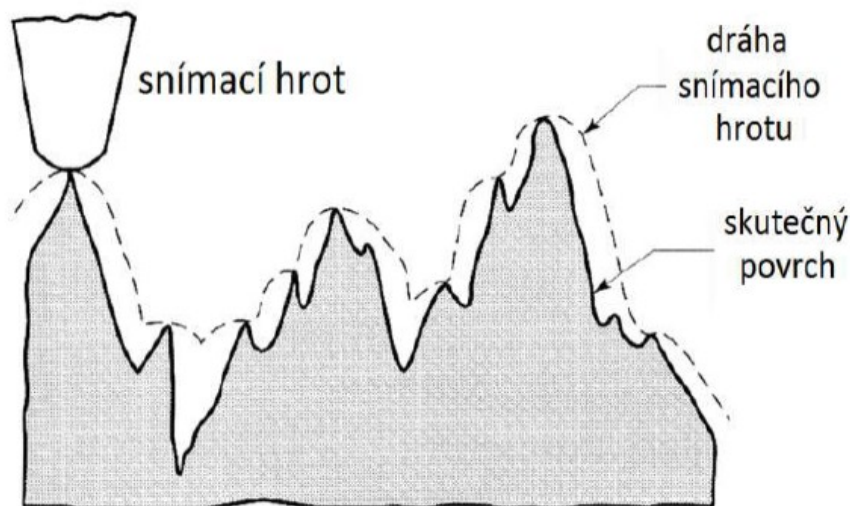
Obr. 2.12 Struktura skutečného povrchu [7]

Jakost povrchu je ve většině případů obrábění rozdílná ve směru řezného pohybu (podélný směr) a ve směru kolmém na řezný pohyb (příčný směr). Například u soustružení, vyvrtávání nebo vrtání je větší hodnota parametru  $R_a$  v příčném směru. Naopak je tomu například u frézování. Při dokončovacích operacích, jako jsou broušení, lapování nebo honování, bývá zpravidla jakost povrchu stejná v obou směrech [7,22,55,60].



Obr. 2.13 Znázornění rozdílu jakosti povrchu v různých směrech v závislosti na směru řezného pohybu [55]

Měření jakosti povrchu se provádí buď dotykově nebo bezdotykově (opticky). U dotykového měření dochází k přímému kontaktu snímacího hrotu přístroje s měřeným povrchem součásti. Při takovém způsobu měření je důležité, aby poloměr zaoblění hrotu měřicího přístroje byl dostatečně malý a byl schopen kopírovat strukturu povrchu s dostatečnou přesností. U snímacích hrotů dochází ke špatnému měření prohlubní, které jsou užší než poloměr zaoblění hrotu (obr. 2.14). Bezdotykové měření se provádí na speciálních mikroskopech [7,22,55].



Obr. 2.14 Dráha měřicího hrotu při dotykovém měření [7]

Kvalita obrobeného povrchu se kvantifikuje parametry struktury povrchu (ČSN EN ISO 4287), mezi něž patří zejména:

- $R_a$  – střední aritmetická úchylka,
- $R_z$  – maximální výška profilu,
- $R_c$  – průměrná výška profilu,
- $R_t$  – celková výška profilu.

Metodika hodnocení kvality povrchu  $R_a$  (obr. 2.15) vychází z matematického určení aritmetického středu absolutních odchylek filtrovaného profilu drsnosti od střední čáry uvnitř základní délky (vztah 2.3, 2.4). Vypovídající schopnost parametru  $R_a$  je poměrně nízká, protože špatně reaguje na extrémní výšky a prohlubně měřeného profilu. Avšak zejména v České republice je velice rozšířeným kritériem hodnocení struktury povrchu součástí. Příklady doporučených hodnot  $R_a$  jsou uvedeny v tabulce 2.3 [7].



Obr. 2.15 Schéma hodnocení kvality povrchu pomocí parametru  $R_a$  [25]

Statistická metoda určení Ra:

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| = \frac{|y_1| + |y_2| + |y_3| + \dots + |y_n|}{n} [\mu m] \quad (2.3)$$

kde: n ... počet dílků profilu [-]

$y_i$  ... velikost jednotlivých dílků profilu [ $\mu m$ ]

Integrální metoda určení Ra:

$$Ra = \frac{1}{l_r} \int_0^l |y(x)| dx [\mu m] \quad (2.4)$$

kde:  $l_r$  ... měřená délka profilu [ $\mu m$ ]

$y(x)$  ... funkce popisující profil [-]

V případě, kdy povrch vypadá, že je homogenní, je možno použít hodnoty naměřené na celém povrchu pro porovnání s požadavky uvedenými ve výkresové dokumentaci [7].

Tab. 2.3 Směrnice pro použití Ra [23]

Ra [ $\mu m$ ]	Použití
0,012	nejhladší funkční plochy, například základní měřky, metalografické výbrusy
0,025	kluzné plochy s velkou kluznou rychlostí měřicí plochy měřidel, například některých kalibrů
0,05	velmi přesné funkční plochy úložné plochy měřicích přístrojů činné plochy měřidel a některých kalibrů
0,1	kluzné plochy hřídelů pro přesná uložení s malou vůlí čelní opěrné plochy axiálních ložisek, lapované písty a díry hydraulických zařízení
0,2	kluzné lochy smýkadel a přesných ložiskových pouzder těsnící kuželové plochy přesné technologické základny
0,4	vodící plochy u obráběcích strojů funkční plochy broušených ozubených kol, šneků, vaček základní povrch pod výstelky ložisek
0,8	stykové plochy pro narážená a lisovaná uložení válcové středící plochy rozebíratelné
1,6	vodící plochy s občasným vzájemným pohybem, například drážky pro pera stykové plochy dělených skříní
3,2	stykové plochy bez velkých požadavků na těsnost
6,3 12,5	hrubě obrobené dosedací plochy bez vzájemného pohybu nefunkční obrobené plochy, například čelní plochy ozubených kol a hřídelů

### 2.1.9 Trvanlivost ložisek

Trvanlivost ložiska je počet otáček, které ložisko vydrží, než alespoň u jedné z jeho součástí nastane únava, která se projeví porušením soudržnosti dané části ložiska (obr. 2.16). Trvanlivost se vyjadřuje buď počtem provozních hodin, anebo celkovým počtem otáček ložiska [48,63].

Trvanlivost je závislá na materiálu ložiska. U větší série ložisek stejného typu, která jsou zkoušena za stejných provozních podmínek, může docházet ke značnému rozptylu hodnot trvanlivosti. Ložisková ocel totiž není zcela homogenní v celém zpracovávaném objemu [48,63].

Na velikost rozptylu hodnot trvanlivosti mají vliv také další faktory, jako jsou například výrobní tolerance jednotlivých ložiskových částí. V ložisku kolísá velikost radiální vůle, a to z výrobních důvodů. Toto kolísání je v určité předepsané toleranci, i tak dochází k nerovnoměrnému rozložení tlaku na valivá tělesa ložiska [50,66].



Obr. 2.16 Poškozená valivá tělíska ložiska [28]

Na trvanlivosti ložisek se ve značné míře podílí i kvalita, množství a čistota použitého maziva. Při použití správného typu maziva lze trvanlivost ložisek v jisté míře navýšit. Při správném mazání by měla vrstva maziva oddělit valivé povrchy [50,66].

Základní trvanlivost ložiska je dána matematickou rovnicí (2.5). Tato rovnice platí pro všechny typy ložisek. Základní trvanlivost je trvanlivost, které dosáhne 90 % ložisek ze stejné série, jež pracují ve stejných provozních podmínkách [50,66].

Rovnice základní trvanlivosti:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^P [10^6 \text{ ot.}] \quad (2.5)$$

kde:  $L_{10}$ ...základní trvanlivost [ $10^6$  otáček]

$C$ ...základní dynamická únosnost [kN]

$P$ ...ekvivalentní dynamické zatížení ložiska [N]

Rovnice ekvivalentního dynamického zatížení ložiska:

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \text{ [N]} \quad (2.6)$$

kde:  $X$ ...součinitel radiálního zatížení ložiska [-]  
 $Y$ ...součinitel axiálního zatížení ložiska [-]  
 $F_r$ ...skutečné radiální zatížení ložiska [N]  
 $F_a$ ...skutečné axiální zatížení ložiska [N]

$P = 3$ ...pro kuličková ložiska

$P = 10/3$ ...pro válečková, jehličková, kuželíková a soudečková ložiska

Pro výpočet trvanlivosti ložiska lze použít upravenou rovnici (2.7), která udává základní trvanlivost v počtu provozních hodin ložiska.

Rovnice základní trvanlivosti v hodinách:

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^P \cdot \left(\frac{10^6}{60 \cdot n}\right) \text{ [hod]} \quad (2.7)$$

kde:  $L_{10h}$ ...základní trvanlivost [hod]  
 $C$ ...základní dynamická únosnost [kN]  
 $P$ ... ekvivalentní dynamické zatížení ložiska [N]  
 $n$ ...otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]

Jak bylo zmíněno výše, provozní trvanlivost závisí na mnoha faktorech, provozních podmínkách, kvalitě mazání, technologii výroby a materiálu ložiskových částí. V současnosti došlo k pokroku ve vývoji nových technologií zpracování ložiskových částí. Pokrok ve vývoji ložiskových materiálů a jejich technologickém zpracování je zahrnut v upraveném výpočtu trvanlivosti, tento výpočet je zahrnut v normě ISO 281 dle vzorce (2.7) [50,66].

Upravená rovnice základní trvanlivosti:

$$L_{na} = a_1 + a_{23} + L_{10} \quad (2.8)$$

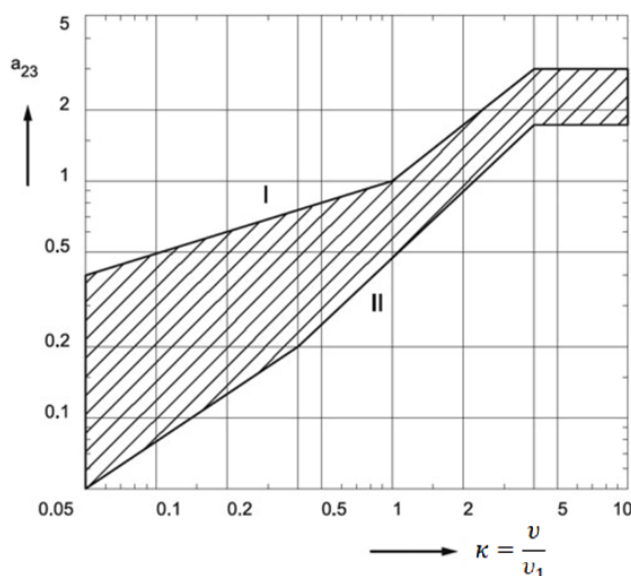
kde:  $L_{na}$ ...upravená trvanlivost [ $10^6$  otáček]  
 $L_{10}$ ...základní trvanlivost [ $10^6$  otáček]  
 $a_1$ ...koeficient spolehlivosti [-]  
 $a_{23}$ ...koef. materiálu, maziva, provozních podmínek a technologie výroby [-]

V případě, kdy pro zadané uložení ložisek není specifikován požadavek trvanlivosti, lze brát za vyhovující hodnoty uvedené v tabulce 2.4. Kvalita procesu mazání je dána velikostí poměru oddělených valivých ploch. Hlavním faktorem mazací vrstvy je viskozita, ta

je podstatně závislá na teplotě mazacího média. Viskózní poměr je dán vztahem (2.9) a jeho závislost je uvedena na obr. 2.17 [50,66].

Tab. 2.4 Základní trvanlivost [66]

Směrné hodnoty základní trvanlivosti v provozních hodinách	
Druh stroje	Základní trvanlivost $L_{10h}$
přístroje a nářadí zřídka používané	1000
elektrické stroje pro domácnost, malé ventilátory	2000 až 4000
stroje pro přerušovaný provoz, ruční nástroje, dílenské jeřáby, hospodářské stroje	4000 až 8000
stroje pro přerušovaný provoz s požadovanou vysokou spolehlivostí, pomocné stroje v elektrárnách, pásové dopravníky, dopravní vozíky, výtahy	8000 až 15000
válcovací stolice	6000 až 12000
stroje pro 8 až 16 hodinový provoz, stacionární elektromotory, ozubené převody, včetně textilních strojů, stroje na zpracování plastů, tiskařské stroje, jeřáby	15000 až 30000
obráběcí stroje	20000 až 30000
stroje pro trvalý provoz, stacionární elektrické stroje, dopravní zařízení, válečkové dopravníky, čerpadla, odstředivky, dmychadla, kompresory, drtiče, briketovací lis, důlní výtahy	4000 až 60000
stroje pro trvalý provoz s velkou provozní bezpečností, elektrárenské stroje, vodárenské stroje, papírenské stroje, lodní stroje	100000 až 200000

Obr. 2.17 Graf zobrazující závislost koeficientu  $a_{23}$  na viskózním poměru [66]

Viskózní poměr:

$$\kappa = \frac{v}{v_1} [-] \quad (2.9)$$

kde:  $v$ ...kinematická viskozita při provozní teplotě ložiska [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]

$v_1$ ... kinematická viskozita pro definovanou frekvenci otáček a daný rozměr ložiska [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]

### 3 TECHNOLOGICKÉ MOŽNOSTI VÝROBY ULOŽENÍ PRO LOŽISKA

Technologické možnosti výroby děr pro ložiska jsou dány několika faktory. Mezi tyto faktory patří obráběcí stroje, nástroje a složitost konstrukce vyráběné součásti. Z technologického hlediska lze vyrobit díry v tělese převodovky několika způsoby. Volba konkrétní technologie výroby a obráběcího stroje, popřípadě skupiny strojů, zapříčiní, zda budou dodrženy předpisy dané konstruktérem, jež jsou předepsány na výkresech [6,58].

Díry pro valivá nebo kluzná ložiska lze vyrobit:

- soustružením – rotační součásti,
- vrtáním (vystružováním) – menší průměry,
- vyvrtáváním – větší průměry,
- frézováním.

#### 3.1 Vrtání a vyvrtávání

Vrtáním a vyvrtáváním se zhotovují vnitřní rotační plochy. Vrtání a vyvrtávání je typ třískového obrábění a může být prováděno na různých typech strojů za použití rozličných nástrojů. Vzniklé díry mohou být válcové, kuželové nebo tvarové, záleží na použití nástroje a technologie výroby. Vrtáním lze vytvářet díry do plného materiálu. Vyvrtávání je proces, při kterém dochází k rozšiřování děr, které byly předem předvrtány, odlity nebo předkovány. [6,58]



Obr. 3.1 Dokončovací vyvrtávací nástroje [36]



Vrtací a vyvrtávací nástroje (obr. 3.2):

- vrtáky – šroubovité (nejčastější), stupňovité, kopinaté, středící, dělové,
- frézy – čelní válcové frézy,
- vyvrtávací tyče a hlavy,
- výhrubníky,
- výstružníky,
- záhlubníky.



Obr. 3.2 Základní vrtací nástroje [21]

### 3.1.1 Vrtání

Vrtání umožňuje vyrobít díry do plného materiálu. Při vrtání obvykle vykonává hlavní i vedlejší pohyb nástroj, k této kombinaci dochází hlavně na vrtačkách. U vrtání například na soustruhu koná hlavní otáčivý pohyb obrobek a vedlejší posuvný pohyb koná nástroj. Při vrtání je nejdůležitějším faktorem rezných parametrů rezná rychlost (3.1), jedná se o obvodovou rychlost bodu na největším průměru nástroje, který je v řezu. Hodnota rezné rychlosti směrem k ose vrtáku klesá k nule [6,58].

Rezná rychlost při vrtání:

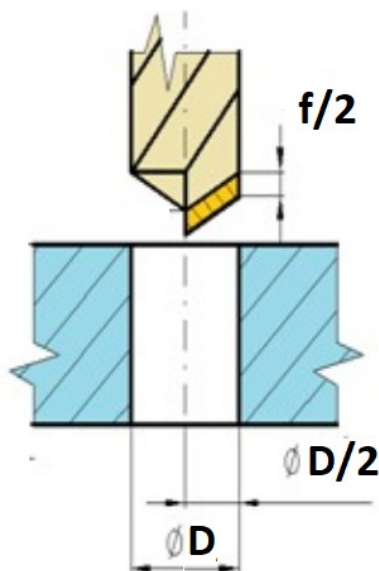
$$v_c = \frac{\pi \cdot D_v \cdot n_s}{1000} [m \cdot \min^{-1}] \quad (3.1)$$

kde:  $D_v$  ... průměr vrtáku [mm]  
 $n_s$  ... otáčky stroje [ $\min^{-1}$ ]

Plocha třísky pro jeden břit:

$$S = \frac{D_v \cdot f_n}{2 \cdot z} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (3.2)$$

kde:  $D_v$  ... průměr vrtáku [mm]  
 $z$  ... počet břitů nástroje [-]  
 $f_n$  ... posuv na otáčku [mm]



Obr. 3.3 Schéma vrtání [8]

### 3.1.2 Vyvrtávání

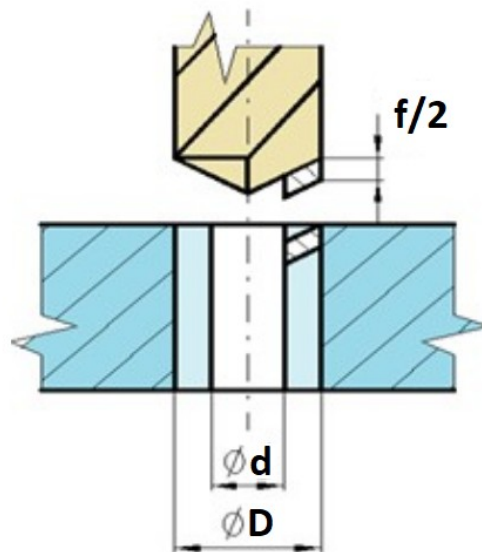
Vyvrtávání je typem třískového obrábění. Pomocí vyvrtávání jsou obráběny předem zhotovené díry, tyto díry mohou být předvrtané menším průměrem vrtáku, předkované v tělese výkovku, nebo mohou být odlity. Vyvrtávání se obvykle používá pro díry větší než třicet milimetrů, je však možno vyvrtávat díry i menších průměrů [6,58].

Nástroje pro vyvrtávání jsou buď vrtáky větších průměrů, než je předvrtaná díra, kde se plocha třísky odebírané jedním břitem spočítá dle vztahu (3.3), nebo vyvrtávací tyče a hlavy [6,58].

Plocha třísky pro jeden břit:

$$S = \frac{(D_v - d_v) \cdot f_n}{2 \cdot z} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (3.3)$$

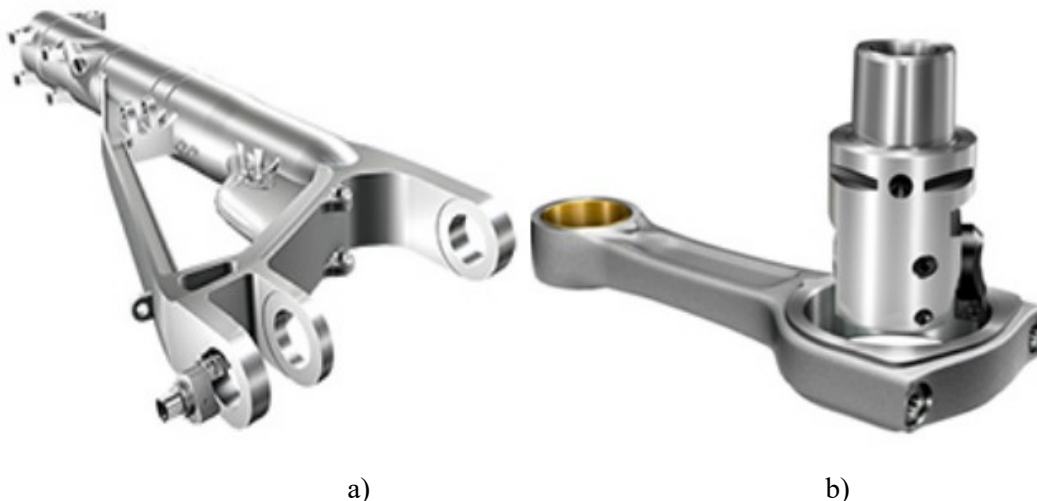
kde:  $D_v$  ... průměr vrtáku  
 $d$  ... průměr předchozí díry  
 $z$  ... počet břitů nástroje  
 $f_n$  ... posuv na otáčku



Obr. 3.4 Schéma vyvrtávání [8]

Vyvrtávání je rozšířeno téměř ve všech průmyslových odvětvích, tam kde je potřeba přesných děr větších průměrů, popřípadě zvětšení děr na určité rozměry [6,35,40,58].

- automobilový průmysl – převodovky, motory a jejich součásti, další součásti,
- letecký průmysl – součásti motorů a podvozků letadel,
- energetický průmysl – zařízení pro ropný a plynárenský průmysl.



Obr. 3.5 Příklady vyvrtávaných součástí [40]: a) přistávací podvozek letounu, b) ojnice

Vyvrtávací tyče (obr. 3.6) jsou složeny z upínací části a z nožového držáku, ve kterém jsou vsazeny vyvrtávací nože. Tyto tyče jsou upnuty do vřetena stroje letmo nebo bývají podepřeny ložiskem. Vyvrtávací tyče jsou osazeny jedním nebo více vyvrtávacími noži. Dvou a vícebřité tyče jsou používány na hrubování děr. Pro jemné obrábění a obrábění na čisto se používají jednobřité nástroje se stavitelnými noži, to umožňuje měnit velikost vyvrtávaného průměru [6,35,58].



Obr. 3.6 Vyvrťovací tyče [6]

Vyvrťovací hlavy (obr. 3.7) jsou konstrukčně podobné vyvrťovacím tyčím. Používají se zejména k výrobě kratších děr o velkém průměru nebo k obrábění čel děr [6,58].



Obr. 3.7 Vyvrťovací hrubovací hlava [6]

Řezné podmínky při vyvrťávání jsou u starších typů nástrojů limitovány špatným odvodem tepla, jelikož se jedná o obrábění děr a také zhoršeným odvodem třísek. Tuhost vyvrťovacích tyčí omezuje velikost průřezu třísek. Při uvážení těchto parametrů lze volit podobné řezné podmínky jako například pro soustružení (tab. 3.1). Řezná rychlost se spočítá

podobně jako při soustružení, jen je snížena o koeficient uvedený v tabulce 3.3, který se mění v závislosti na velikosti obráběné díry. Kvalita povrchu (tab. 3.2) pak záleží zejména na posuvu a tuhosti vyvrtávacího nástroje [6,58].

Tab. 3.1 Hodnoty hloubky řezu a posuvu [6]

Operace	Hloubka řezu [mm]	Posuv na otáčku [mm]
vyvrtávání - hrubování	3 až 5	0,1 až 1,5
vyvrtávání - na čisto	0,2 až 0,5	0,04 až 0,3
vyvrtávání - jemné	0,1 až 0,3	0,005 až 0,05

Tab. 3.2 Dosahovaná přesnost a kvalita povrchu při vyvrtávání [58]

Operace	Přesnost IT	Ra [ $\mu\text{m}$ ]
vyvrtávání - hrubování	11 až 14	12,5 až 50
vyvrtávání - na čisto	7 až 11	1,6 až 6,3
vyvrtávání - jemné	5 až 8	0,8 až 1,6

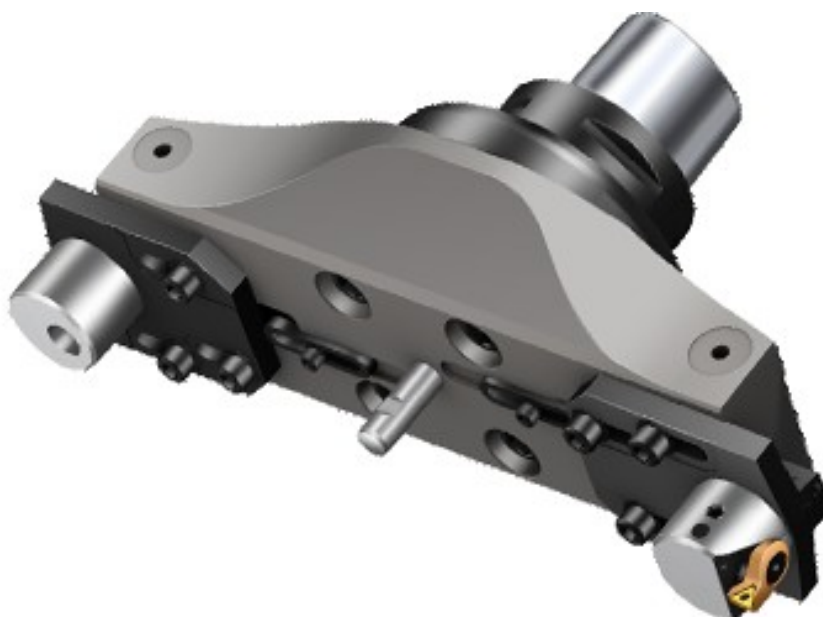
Tab.3.3 Hodnoty opravného koeficientu [6]

Průměr díry [mm]	Opravný koeficient K [-]
20 až 50	0,70
50 až 80	0,80
80 až 150	0,90
150 až 250	0,95
více než 250	1

Jemné vyvrtávání lze dělit do několika skupin dle velikosti nástrojů, směru obrábění a obráběné plochy.

Rozdělení nástrojů podle velikosti vyráběných děr:

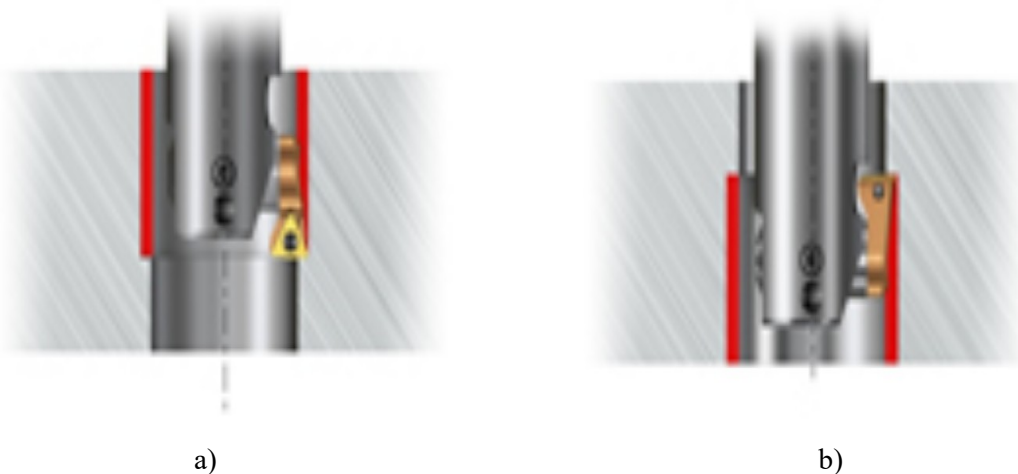
- malé průměry – do 40 mm (dle výrobce),
- velké průměry – nad 40 mm (dle velikosti stroje),(obr.3.8).



Obr. 3.8 Dokončovací vyvrtávací hlava CoroBore 826 pro velké průměry [39]

Rozdělení nástrojů podle směru obrábění (obr.3.9):

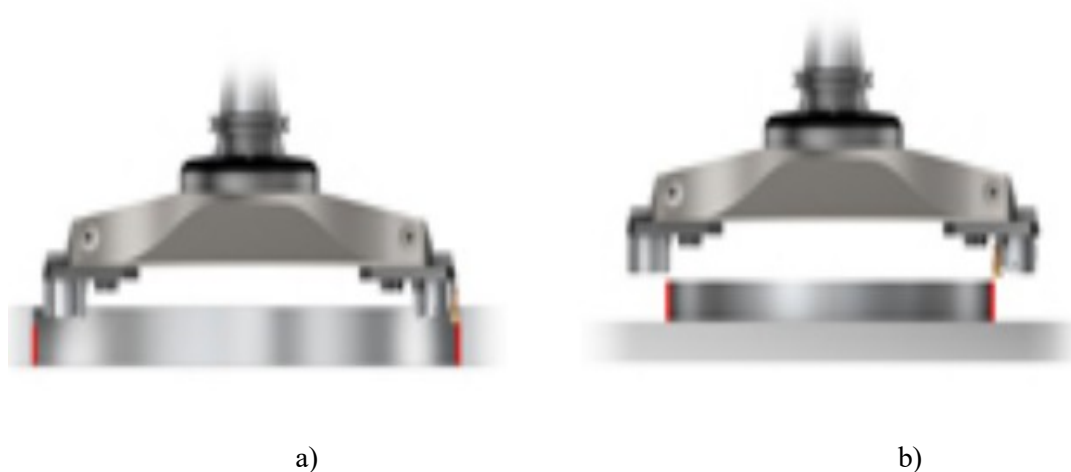
- konvenční vyvrtávání,
- zpětné vyvrtávání.



Obr. 3.9 Vyvrtávání [38]: a) Konvenční jemné vyvrtávání, b) Zpětné vyvrtávání

Rozdělení nástrojů podle obráběné plochy (obr. 3.10):

- vnitřní,
- vnější.



Obr. 3.10 Vyvrtávání [39]: a) Vnitřní, b) Vnější

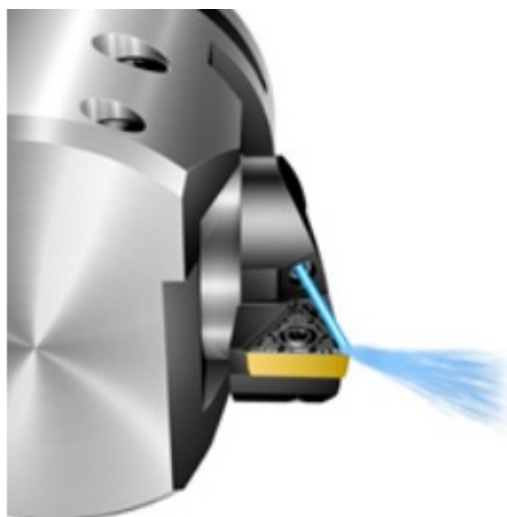
Nástroje pro jemné vyvrtávání děr malých průměrů umožňují seřízení s velkou přesností, většinou v řádech mikrometrů. Tím je dosaženo úzkých tolerančních polí a jakosti povrchu (tab. 3.2). Nástroje umožňují přívod procesních kapalin tělem nástroje. Výrobci doporučují volit břitové destičky s pozitivní geometrií (tab.3.4). Dále doporučují volit malý poloměr zaoblění špičky nástroje, který má být menší než hloubka řezu. Pro dosažení co nejlepší kvality povrchu mohou být použity i hladící břitové destičky. Větší nástroje bývají vybaveny protizávažím, které vyvažuje destičku na protilehlé straně nástroje [38,42].

Tab.3.4 Doporučené VBD a řezné podmínky pro jemné vyvrtávání (Sandvik CZ s.r.o) [35]

Materiál	$v_c$ [m · min <sup>-1</sup> ]	Ra 0,8			Ra 1,6		
		VBD	$a_p$ [mm]	$f_n$ [mm]	VBD	$a_p$ [mm]	$f_n$ [mm]
Ocel	180	TCEX 110305-L-F 1125	0,2	0,25			
		TCMT 110304-PF 4325	0,4	0,09	TCMT 110304-PF 4325	0,4	0,13
Titan	50	TCGX 110204- ALH10	0,4	0,1	TCGX 110204- ALH10	0,4	0,13
Al slitiny	270	TCGX 110204- ALH10	0,4	0,09	TCGX 110204- ALH10	0,4	0,13
Litiny	225	TCMT 110304-PF 4325	0,4	0,03	TCMT 110304-PF 4325	0,4	0,13

Výhody stavitelných hlav pro jemné vyvrtávání:

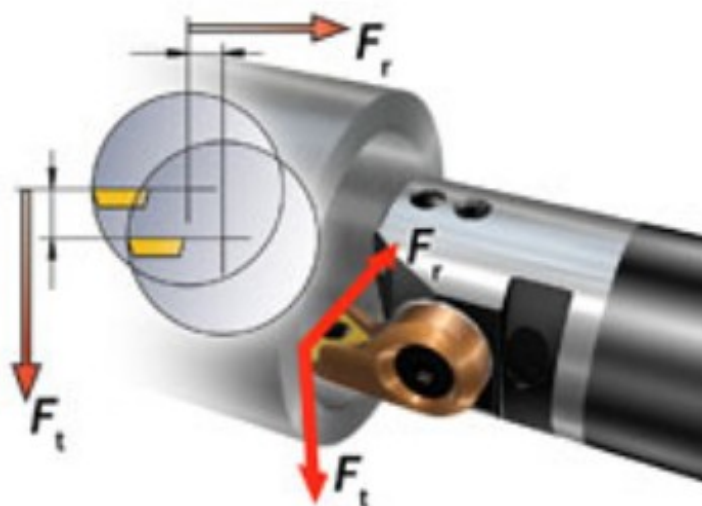
- široký rozsah průměrů – stavitelné vysunutí destiček,
- vynikající kvalita obrobené plochy,
- úzké tolerance děr,
- vysoká přesnost – seřízení vyložení v řádech mikrometrů,
- vnitřní přívod procesních kapalin tělem nástroje do místa řezu (obr. 3.11),
- dobrá tuhost nástroje.



Obr. 3.11 Přívod procesní kapaliny přímo do místa řezu [37]

### Řezné síly při vyvrtávání vyvrtávací hlavou

Při vyvrtávání vyvrtávacími hlavami a tyčemi s jedním břitem vzniká radiální a tangenciální síla (obr. 3.12). Tyto síly vychylují nástroj pryč od obráběné plochy. Vychýlení radiálním směrem způsobuje zmenšení hloubky řezu a tím tloušťky třísky, toto může vést ke vzniku vibrací [31].



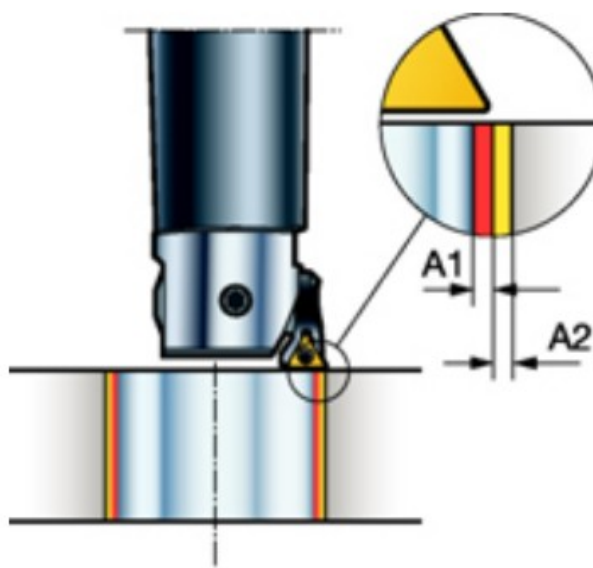
Obr. 3.12 Řezné síly při vyvrtávání [31]

### Dosažení úzkých tolerancí díry

Obrábění děr s úzkou tolerancí díry by se mělo konečné nastavení nástroje provádět až po kontrolním řezu (obr. 3.13) a následném změření hodnoty průměru díry. Nástroj musí zůstat upnutý ve stroji, tímto způsobem se vyloučí změna souososti. Při jemném vyvrtávání může dojít k vychýlení nástroje, zejména při dlouhém vyložení [42].

Na výslednou toleranci díry mají vliv zejména tyto parametry:

- Dokonalost upnutí obráběné součásti,
- Opotřebení VBD,
- Způsob upnutí nástroje.

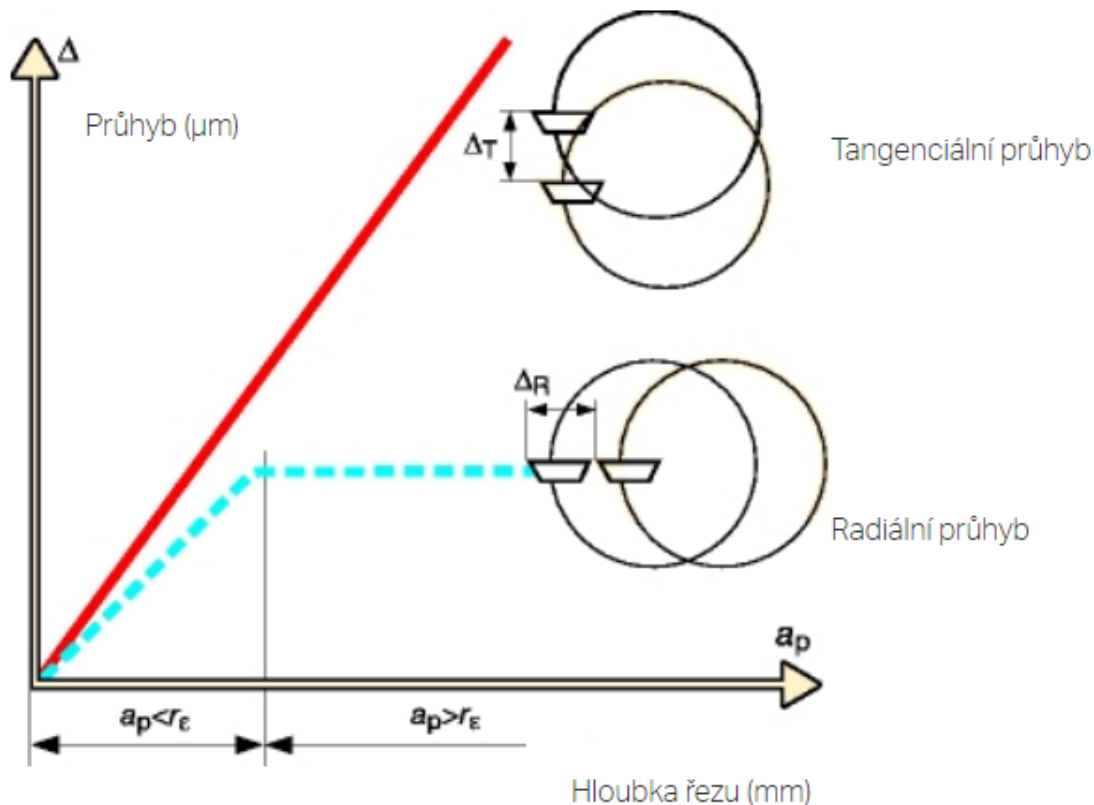


Obr. 3.13 Kontrolní a konečný řez [42]



### Průhyb nástroje

Průhyb (obr. 3.14) v radiálním směru má negativní vliv na výsledný průměr díry. Průhyb ve směru tangenciálním způsobuje to, že se řezná hrana VBD odchyluje od středové osy směrem dolů. Radiální průhyb nástroje je závislý na poměru poloměru zaoblení špičky nástroje a šířky záběru ostří [33].



Obr. 3.14 Vliv hloubky řezu na velikosti průhybu [33]

### Vyvážení

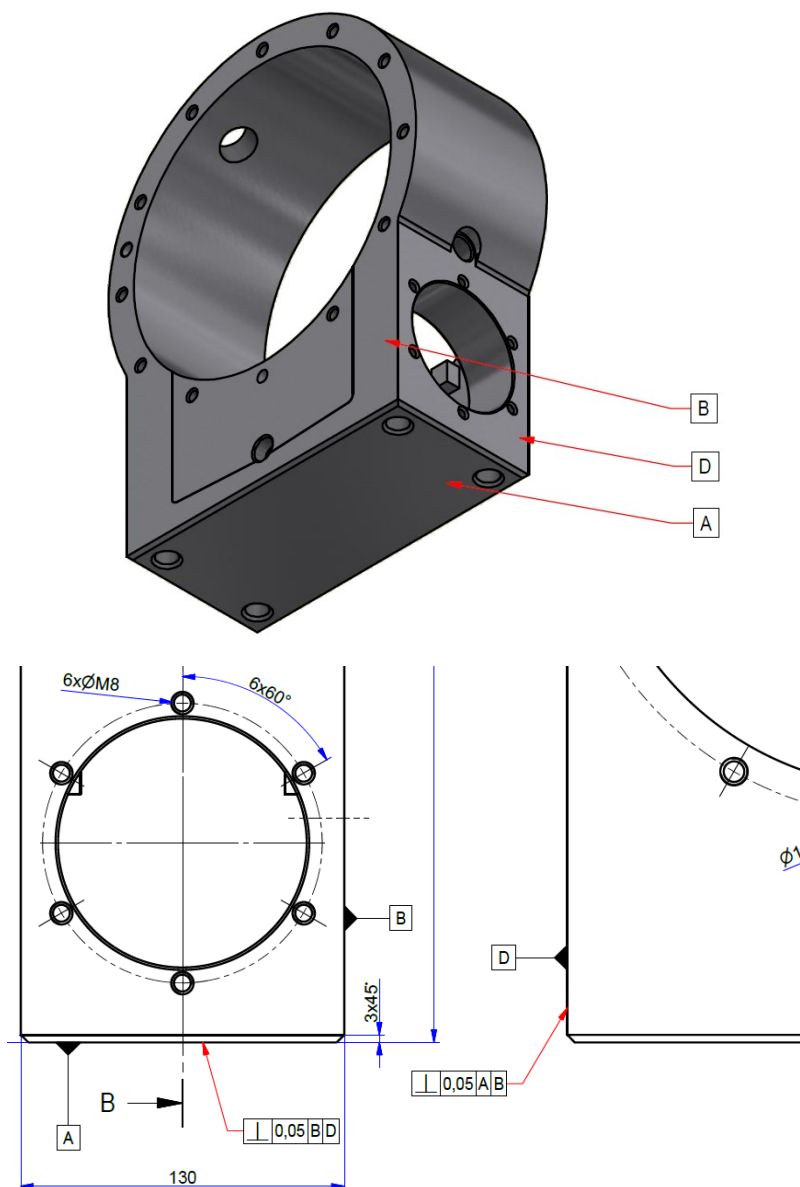
Nesymetrický tvar nástroje může způsobovat nevyváženosti a vznik obvodového házení. K tomu dochází zejména při velkém vyložení nástroje a vyšších řezných rychlostech. Nevyváženost tak může způsobit vznik vibrací a tím ovlivnit kvalitu výsledné díry.

Všechny vyvrtávací nástroje od firmy Snadvik Coromant jsou vždy předem vyvažovány. Při zjištění nevyváženosti tato firma nabízí následné vyvážení celé nástrojové sady, to zahrnuje vyměnitelné břitové destičky, vyvrtávací nástroj, prodlužovací adaptér a základní držák [32].

### 3.2 Varianty výroby děr v tělese převodovky s ohledem na požadovanou přesnost

Na začátku byly zvoleny dvě výrobní varianty, u nichž byly následně vyhodnoceny parametry přesnosti, výrobní čas a cena výrobních nástrojů. Obě varianty byly testovány s novými břitovými destičkami, aby se předešlo vlivu zhoršení kvality povrchu a přesnosti opotřebením nástroje. Výsledná přesnost pak byla dána pouze technologickými aspekty obráběcího stroje a nástrojových držáků.

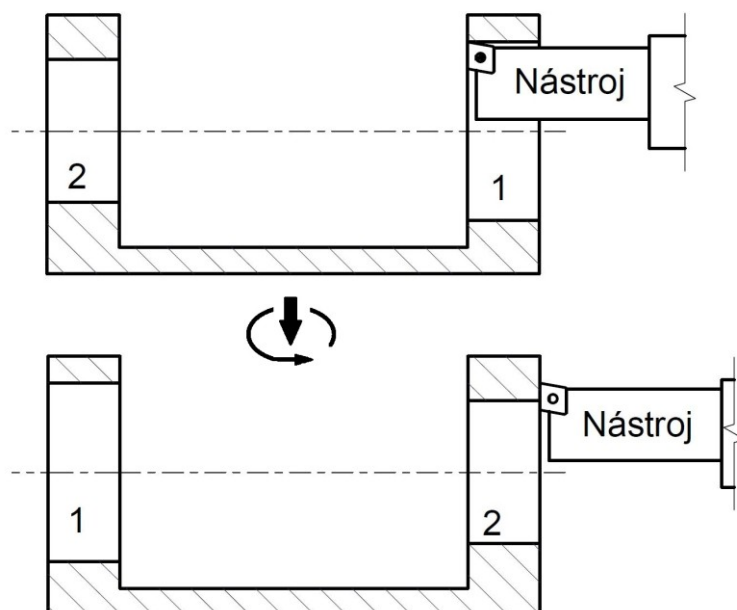
Na tělese převodovky byly po jejím svaření a očištění vytvořeny obráběním technologické základny (obr. 3.15), které zajišťují správné usazení obrobku na stole obráběcího stroje. Dosažením výkresem předepsaných tolerancí ustavujících technologických ploch je pak zajištěna poloha ložiskových děr vůči ostatním prvkům na tělese převodovky, jako jsou například díry pro víka, díry pro ustavení tělesa převodovky v sestavě navijáku a další.



Obr. 3.15 Technologické základny na převodové skříně

### 3.2.2 Varianta A

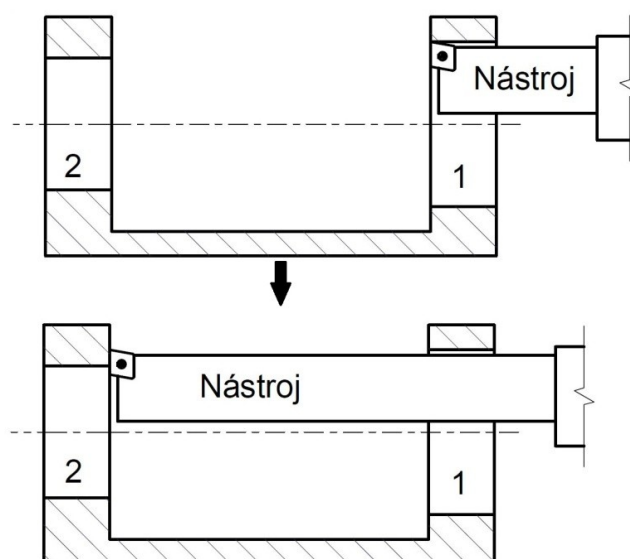
První zvolenou variantou je ta, u níž se předpokládá otáčení stolu o 180° (obr. 3.16). To znamená, že se nejdříve vyrobí jedna díra pro ložisko a následně dojde k otočení stolu. Po otočení stolu je pak vyrobena díra druhá. V tomto případě je důležitá přesnost otáčení stolu. Kdyby měl stůl nějaké vůle, mohlo by dojít k tomu, že díry nebudou souosé. To by mohlo zapříčinit špatný chod převodovky a větší opotřebování ložisek.



Obr. 3.16 Schéma výrobní varianty A

### 3.2.1 Varianta B

Druhou variantou byla ta, u které se předpokládá výroba protilehlých ložiskových děr na jedno upnutí a průchozím způsobem (obr. 3.17). To znamená, že první je vyrobena díra blíže k vřetenu s nástrojem. Pak dojde k výměně nástroje za nástroj s prodlužovacím adaptérem a pak je vřeteno vyloženo o požadovanou délku a je vyrobena následující díra. Tento způsob výroby umožňuje mimo jiné vyrobit ložiskovou díru 2, jenž bude slepá, což je výhodou pro utěsnění tělesa převodovky, a to díky absenci jednoho víka. U této výrobní varianty je důležité, aby druhá díra měla dostatečnou přesnost a požadovanou kruhovitost, jinak by mohlo dojít k uvolňování ložiska, nebo naopak k jeho zadírání.



Obr. 3.17 Schéma výrobní varianty B

## 4 VZOROVÉ ŘEŠENÍ VÝROBY

Pro vzorové řešení výroby byly použity stroje a nástroje, které se nachází ve strojním parku firmy Kovo Staněk, s.r.o.

### 4.1 Obráběcí stroj

Jako obráběcí stroj byl zvolen DMF 180 od firmy DMG MORI na obr. 4.1, který se nachází ve strojním parku firmy. Jedná se o produktivní 5osé obráběcí centrum s vysokou přesností a produktivitou. Parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 4.1.



Obr. 4.1 DMF 180 [4]

Tab. 4.1 Parametry DMF 180 [4]

Parametr	Hodnota
max. zdvih v ose X	1800 mm
max. zdvih v ose Y	700 mm
max. zdvih v ose Z	700 mm
max. únosnost stolu	1500 kg
délka stolu	2100 mm
šířka stolu	700 mm

Toto obráběcí centrum bylo zvoleno vzhledem k následujícím vlastnostem:

1. Produktivita:
  - vysoká dynamika, až 80 m/min,
  - nástrojový zásobník s 60ti kapsami.
2. Flexibilita:
  - 5osé obrábění s B-osou a integrovaným NC stolem,
  - otáčky vřetene od 8000 min<sup>-1</sup> do 20000 min<sup>-1</sup>,
  - obrábění dlouhých těžkých obrobků nebo upnutí více obrobků najednou.
3. Přesnost:
  - lože z minerálního odlitku.

## 4.2 Příklad pro měření kvality povrchu

Byl vybrán kompaktní profiloměr Rugosurf 90G (obr. 4.2), velice variabilní zařízení, které umí měřit drsnost povrchu otvorů, má velký měřicí rozsah a velké množství měřených parametrů. Dosahované parametry profiloměru jsou uvedeny v tabulce 4.2 [64].



Obr. 4.2 profiloměr Rugosurf 90G [64]

Tab. 4.2 Parametry Rugosurf 90G [64]

Parametr	Hodnota
měřicí rozsah v ose x	50 mm
měřicí rozsah v ose z	1000 $\mu\text{m}$
rozlišení	0,001 $\mu\text{m}$
základní délky	(0,08 - 0,25 - 0,8 - 2,5 - 8) mm
měřicí síla	0,75 mN
rychlost posuvu sondy	0,5 mm/s až 1 mm/s
rozměry	270x140x90 mm
hmotnost	3 kg

Měřené parametry dle ČSN EN ISO 4287:

- profily drsnosti – Ra – Rq – Rt – Rz – Rp – Rv – Rc – RSm – Rdc,
- základní profily – Pa – Pq – Pt – Pv – Pc – PSm – Pdc,
- profily vlnitosti – Wa – Wq – Wt – Wz – Wp – Wv – Wc – WSm – Wdc.

Standardní příslušenství od výrobce:

- etalon drsnosti, Ra=2,97  $\mu\text{m}$  / 117 in,
- standardní sondu SB60/10,
- držák sondy,
- vodící sloupek 90 mm,
- nabíjecí vestavnou baterii 12 V,
- nabíječka 240 V.

### 4.3 Měřicí zařízení

Přesné měřicí zařízení OPTON UMC 850 - ZEISS Calypso (obr. 4.3) je vhodné pro měření zejména těžkých součástí a součástí velkých rozměrů, jako jediný uvedený stroj se nenachází ve firmě Kovo Staněk, s.r.o., měření prováděla firma ZV - Nástroje s.r.o. [10].



Obr 4.3 OPTON UMC 850 - ZEISS Calypso [10]

#### Parametry:

- osa X – podélný posuv 1200 mm,
- osa Y – příčný posuv 850 mm,
- osa Z – vertikální posuv 600 mm,
- vzdálenost mezi sloupy 1000 mm,
- měřicí stůl 1000 x 2100 mm,
- výška stolu 850 mm,
- výška stroje 3050 mm,
- hmotnost 3800 kg,
- elektrické zatížení 3 kW, 380 V, 50 Hz,
- rozlišení až 0,1  $\mu\text{m}$ .

#### Příslušenství:

- žulový měřicí stůl s tlumením vibrací,
- 3D měřicí hlava s držákem pro pět sond.

#### 4.4 Obráběný materiál

Obráběným materiálem je neušlechtilá konstrukční ocel obvyklé jakosti 11 375 (S 235 JR). Tato ocel je vhodná ke svařování všemi obvyklými typy svařování. Vlastnosti materiálu jsou uvedeny v příloze 3 [2].

#### 4.5 Použité nástroje

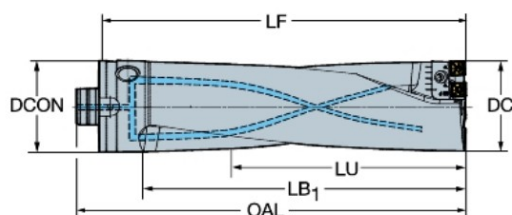
Všechny nástroje pro výrobu ložiskových děr byly od firmy Snadvik CZ s.r.o. Tato firma nabízí širokou škálu nejen vrtacích a vyvrtávacích nástrojů.

##### 4.5.1 Vrták CoroDrill 880-D0840V80-03

Vrták CoroDrill 880 (obr. 4.4) lze použít na ponorné vrtání, vyvrtávání a šroubovou interpolaci. Byla použita šroubová interpolace pro výsledný  $\varnothing 89$  mm. Vrták má rozdílnou centrální VBD (obr. 4.5) a obvodovou VBD (obr. 4.6) [47].

Specifikace:

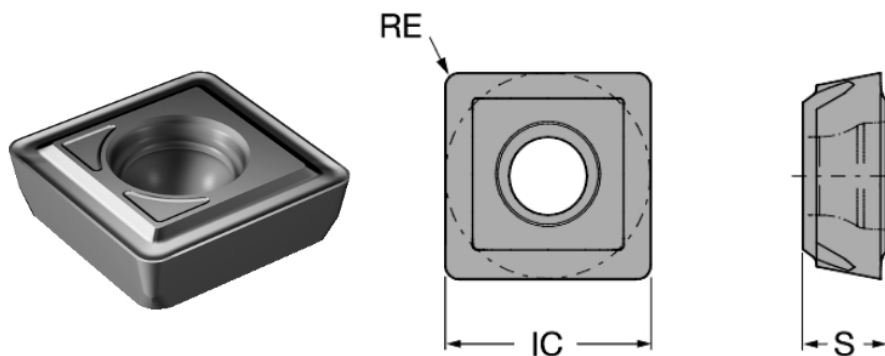
- počet řezných prvků 2,
- dolní dosažitelná tolerance otvoru TCHAL = -0,3 mm,
- horní dosažitelná tolerance otvoru TCHAU = 0,3 mm,
- tlak procesní kapaliny CP = 10 bar,
- úhel břitu nástroje KAPR = 88°,
- funkční délka LF = 414,5 mm,
- délka tělesa LB1 = 371,61 mm,
- maximální rychlost otáčení RPMX = 5000 min<sup>-1</sup>,
- hmotnost WT = 9,1 kg,
- spojovací průměr DCON = 80 mm,
- obvodová VBD 880-07 04 W12H-P-GR 4024,
- centrální VBD 880-07 04 06H-C-GR 1044.



Obr. 4.4 Vrták CoroDrill 880 [47]

**VBD 880-07 04 W12H-P-GR 4024**

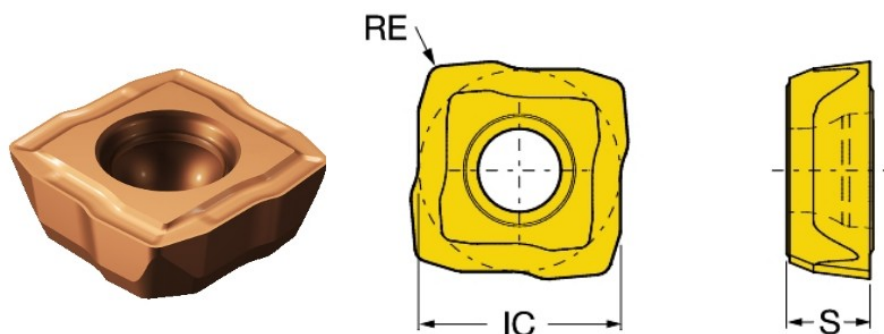
- poloměr zaoblení špičky RE = 1,2 mm,
- tloušťka destičky s = 4 mm,
- průměr vepsané kružnice IC = 12,65 mm,
- povlak Ti(C,N) + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,
- hmotnost WT = 0,007 kg.



Obr. 4.5 VBD 880-07 04 W12H-P-GR 4024 [46]

**VBD 880-07 04 06H-C-GR 1044**

- poloměr zaoblení špičky RE = 0,6 mm,
- tloušťka destičky s = 4 mm,
- průměr vepsané kružnice IC = 12,35 mm,
- povlak (Ti,Al)N,
- hmotnost WT = 0,007 kg.



Obr. 4.6 VBD 880-07 04 06H-C-GR 1044 [34]

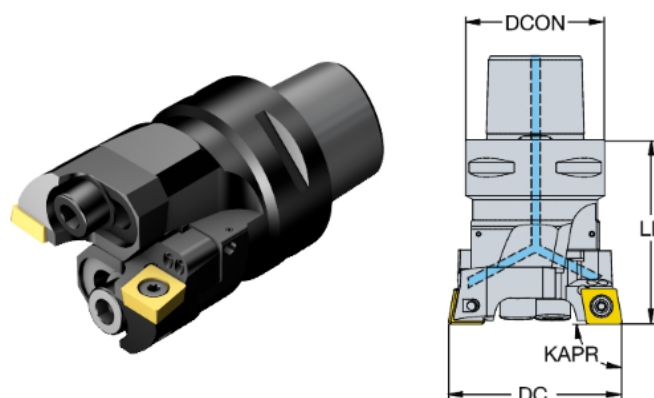
**4.5.2 Vyrvtávací hlava CoroBore BR20-116CC12F-C6**

Vyrvtávací hlava CoroBore BR20-116CC12F-C6 (obr. 4.7) je nástroj pro hrubovací vyrvtávání pro rozsah průměrů od 89 mm do 116 mm, dvoubřítý nástroj s VBD (obr. 4.8). Výsledný vyhrubovaný  $\varnothing 99,2$  mm [45].



## Specifikace:

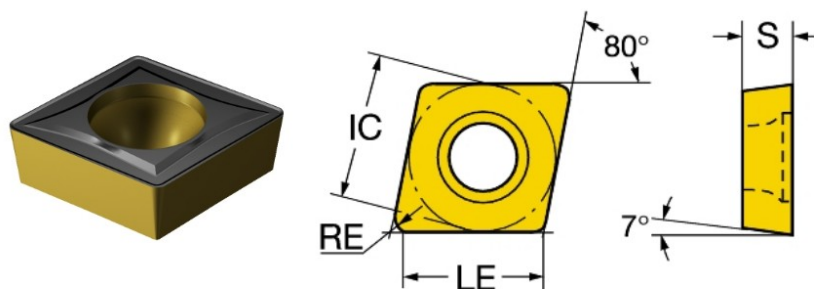
- počet řezných prvků 2,
- minimální řezný průměr DCN = 89 mm,
- maximální řezný průměr DCX = 116 mm,
- tlak procesní kapaliny CP = 70 bar,
- funkční délka LF = 90 mm,
- maximální limit nastavení ADJLX1 = 13,5 mm,
- hmotnost WT = 2,08 kg,
- spojovací průměr DCON = 63 mm,
- VBD CCMT 120408-UR 4335.



Obr. 4.7 CoroBore BR20 [45]

## VBD CCMT 120408-UR 4335

- poloměr zaoblení špičky RE = 0,794 mm,
- tloušťka destičky s = 4 mm,
- průměr vepsané kružnice IC = 12,7 mm,
- povlak Ti(C,N) + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiN,
- hmotnost WT = 0,008 kg,
- hlavní úhel hřbetu AN = 7°,
- účinná délka břitu LE = 12,096 mm.



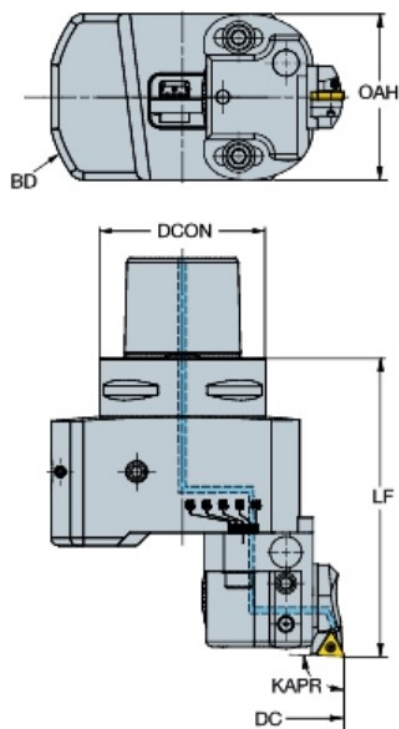
Obr. 4.8 VBD CCMT 120408-UR 4335 [44]

### 4.5.3 Vyvrtávací hlava CoroBore 826-112TC11-C6HP

Vyvrtávací hlava CoroBore 826-112TC11-C6HP (obr. 4.9) je jednobřítý vyvrtávací nástroj pro dokončování a jemné vyvrtávání velkých průměrů s minimální řezným průměrem 91,35 mm a maximálním řezným průměrem 112,65 mm. V hlavě je upnuta VBD (obr. 4.10), která je vhodná pro dokončování [40].

Specifikace:

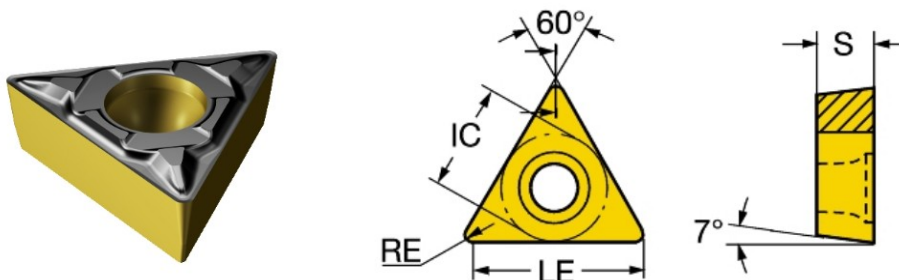
- |                             |                      |
|-----------------------------|----------------------|
| • počet řezných prvků       | 1,                   |
| • minimální řezný průměr    | DCN = 91,35 mm,      |
| • maximální řezný průměr    | DCX = 112,65 mm,     |
| • tlak procesní kapaliny    | CP = 70 bar,         |
| • funkční délka             | LF = 113 mm,         |
| • maximální limit nastavení | ADJLX1 = 10,65 mm,   |
| • hmotnost                  | WT = 3,215 kg,       |
| • spojovací průměr          | DCON = 63 mm,        |
| • celková výška             | OAH = 63 mm,         |
| • průměr tělesa             | BD1 = 85 mm,         |
| • délka tělesa              | LB1 = 113 mm,        |
| • úhel břitu nástroje       | KAPR = 92°,          |
| • VBD                       | TCMT 110304-PF 4325. |



Obr. 4.9 CoroBore 826 [40]

**VBD TCMT 110304-PF 4325**

- poloměr zaoblení špičky  $RE = 0,397 \text{ mm}$ ,
- tloušťka destičky  $s = 3,175 \text{ mm}$ ,
- průměr vepsané kružnice  $IC = 6,35 \text{ mm}$ ,
- povlak  $Ti(C,N) + Al_2O_3 + TiN$ ,
- hmotnost  $WT = 0,002 \text{ kg}$ ,
- hlavní úhel hřbetu  $AN = 7^\circ$ ,
- účinná délka břitu  $LE = 10,34 \text{ mm}$ .



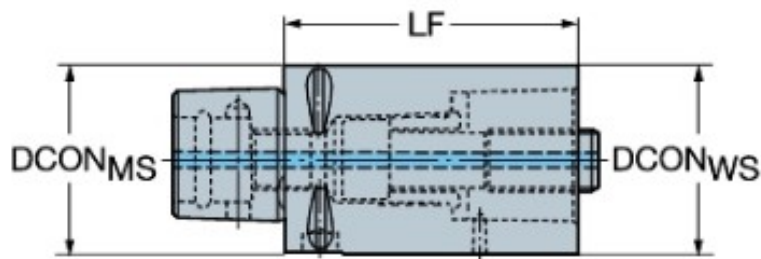
Obr. 4.10 VBD TCMT 110304-PF 4325 [30]

**4.5.4 Prodlužovací adaptér Coromant Capto C6-391.01-63 185**

Při výrobní variantě B je nutno použít prodlužovací adaptér Coromant Capto C6-391.01-63 185 (obr. 4.11). Tím je umožněno potřebného vyložení pro vyvrtávání druhé díry [41].

Specifikace:

- tlak procesní kapaliny  $CP = 80 \text{ bar}$ ,
- funkční délka  $LF = 185 \text{ mm}$ ,
- hmotnost  $WT = 4,189 \text{ kg}$ ,
- spojovací průměr  $DCON = 63 \text{ mm}$ ,
- průměr tělesa  $BD1 = 63 \text{ mm}$ .



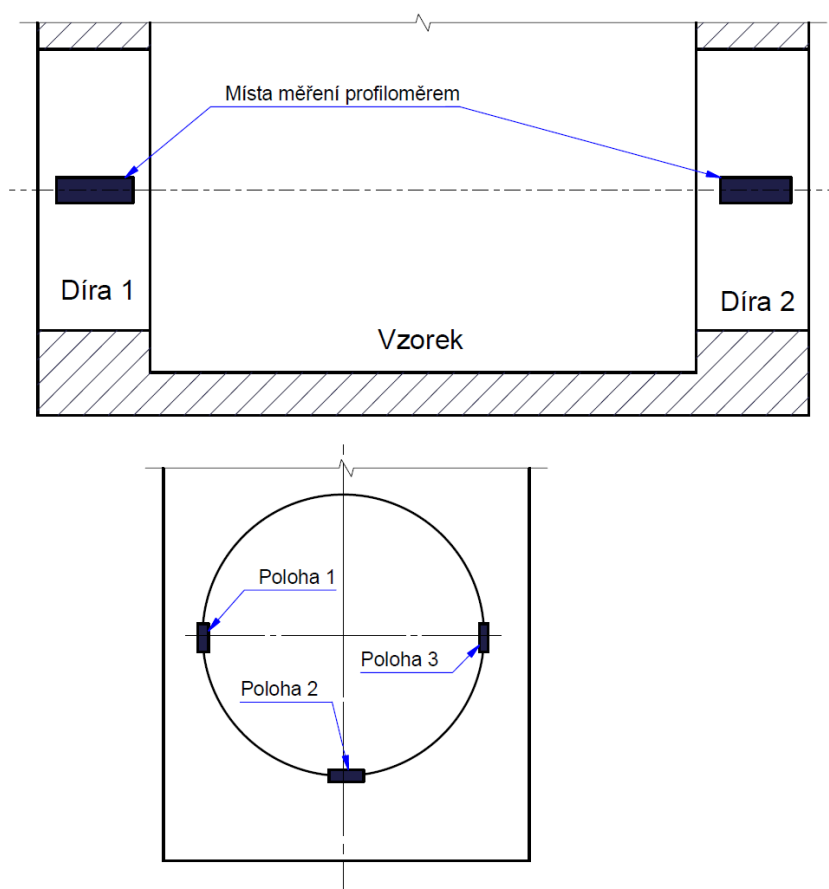
Obr. 4.11 Prodlužovací adaptér Coromant Capto [41]

## 5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Před použitím byly všechny vrtávací hlavy seřízeny pomocí kontrolních řezů na stejnou hodnotu. Pro hrubování na 99,2 mm, pro dokončování na 100,008 mm.

### 5.1 Měření a vyhodnocení struktury povrchu

Pro lepší vypovídací hodnotu byla drsnost povrchu měřena v každém otvoru třikrát (tab. 5.1 až 5.4). To znamená, že na jednom zkušebním vzorku bylo provedeno šest různých měření. Z měření každé díry pak byla vypočtena střední hodnota (tab. 5.1 až 5.4). Tento způsob byl použit u obou variant výroby [14].



Obr. 5.1 Místa měření struktury povrchu na součásti

Výpočet střední hodnoty  $R_a$  pro jednu díru v určitém vzorku:

$$Ra_{Aij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Ra_i = [\mu m] \quad (5.1)$$

kde:  $Ra_{Aij}$  ... hodnota  $R_a$  dané díry v dané variantě pro určitý vzorek [ $\mu m$ ]

$Ra_i$  ... hodnota  $R_a$  v dané poloze [ $\mu m$ ]

$n$ ...počet měření [-]

Vzorový výpočet střední hodnoty Ra pro vzorek A1 - díru 1

$$Ra_{A11} = \frac{Ra_1 + Ra_2 + Ra_3}{n} = \frac{0,687 + 0,655 + 0,635}{3} = 0,659 \mu m$$

Výpočet střední hodnoty Ra pro jednu díru v určité variantě:

$$Ra_{Xj} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Ra_{ij} = [\mu m] \quad (5.2)$$

kde:  $Ra_{Aij}$  ... hodnota Ra dané díry v dané variantě [ $\mu m$ ]

$Ra_{Xj}$ ... hodnota Ra pro danou díru v určité variantě [ $\mu m$ ]

n...počet měření [-]

Vzorový výpočet konečné hodnoty drsnosti pro variantu A - díru 1

$$\begin{aligned} Ra_{A1} &= \frac{Ra_{A11} + Ra_{A12} + Ra_{A13} + Ra_{A14} + Ra_{A15}}{n} \\ &= \frac{0,659 + 0,541 + 0,655 + 0,655 + 0,699}{5} = 0,642 \mu m \end{aligned}$$

Tab. 5.1 Naměřené hodnoty drsnosti Varianta A - díra 1

Vzorek	Poloha	Hodnota Ra [ $\mu m$ ]	Střední hodnota Ra [ $\mu m$ ]
A1	1	0,687	0,659
	2	0,655	
	3	0,635	
A2	1	0,634	0,541
	2	0,622	
	3	0,667	
A3	1	0,643	0,655
	2	0,677	
	3	0,645	
A4	1	0,629	0,655
	2	0,655	
	3	0,681	
A5	1	0,717	0,699
	2	0,702	
	3	0,678	
Výsledná hodnota drsnosti povrchu pro variantu A – díru 1			0,642

Tab. 5.2 Naměřené hodnoty drsnosti Varianta A - díra 2

Vzorek	Poloha	Hodnota Ra [ $\mu m$ ]	Střední hodnota Ra [ $\mu m$ ]
A1	1	0,644	0,675
	2	0,704	
	3	0,676	
A2	1	0,654	0,655
	2	0,685	
	3	0,627	

A3	1	0,657	0,677
	2	0,701	
	3	0,673	
A4	1	0,666	0,689
	2	0,693	
	3	0,707	
A5	1	0,687	0,676
	2	0,685	
	3	0,655	
Výsledná hodnota drsnosti povrchu pro variantu A – díru 2			0,674

Tab. 5.3 Naměřené hodnoty drsnosti Varianta B - díra 1

Vzorek	Poloha	Hodnota Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Střední hodnota Ra [ $\mu\text{m}$ ]
A1	1	0,671	0,645
	2	0,647	
	3	0,618	
A2	1	0,701	0,684
	2	0,695	
	3	0,655	
A3	1	0,661	0,646
	2	0,655	
	3	0,623	
A4	1	0,636	0,606
	2	0,617	
	3	0,565	
A5	1	0,688	0,708
	2	0,737	
	3	0,698	
Výsledná hodnota drsnosti povrchu pro variantu B – díru 1			0,658

Tab. 5.4 Naměřené hodnoty drsnosti Varianta B - díra 2

Vzorek	Poloha	Hodnota Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Střední hodnota Ra [ $\mu\text{m}$ ]
A1	1	0,651	0,67
	2	0,698	
	3	0,661	
A2	1	0,676	0,683
	2	0,696	
	3	0,677	
A3	1	0,673	0,69
	2	0,714	
	3	0,684	
A4	1	0,732	0,722
	2	0,7	
	3	0,735	
A5	1	0,667	0,651
	2	0,699	
	3	0,618	
Výsledná hodnota drsnosti povrchu pro variantu B – díru 2			0,683

Z tabulek 5.1 až 5.4 je patrné, že změna výrobní varianty neměla na výslednou jakost povrchu vliv.

## 5.2 Vyhodnocení geometrických tolerancí předepsaných výkresovou dokumentací

Tab. 5.5 Naměřené hodnoty pro variantu A – díl číslo 1

PROTOKOL O MĚŘENÍ						
OPTON UMC 850 - ZEISS Calypso						
Číslo výkresu XXXXXXXXXX	Název součásti Převodovka	Díl číslo 1_1	Zakázka Diplomová práce			
Operátor Kulíšek	Datum 10 Mai 2018	Oddělení KMS				
Název	Označení	Naměřeno	Jm. hod.	Horní tol.	Dolní tol.	Rozdíl
Průměr válec_1	D	100,012	100,000	100,022	100,000	0,012
Vzdálenost kart_1	DistKart	75,013	75,000	75,050	74,950	0,013
Vzdálenost kart_1_1	DistKart	80,031	80,000	80,050	79,950	0,031
Válcovitost_1	Vál	0,008	0,000	0,011	0,000	0,008
Průměr válec_2	D	100,017	100,000	100,022	100,000	0,017
Válcovitost_2	Vál	0,009	0,000	0,011	0,000	0,009
Souosost_1	Sou	0,025	0,000	0,030	0,000	0,025

Celkový výsledek:

Všechny charakteristiky:	7
...v toleranci:	7
...mimo toleranci:	0

Tab. 5.6 Naměřené hodnoty pro variantu B – díl číslo 1

PROTOKOL O MĚŘENÍ						
OPTON UMC 850 - ZEISS Calypso						
Číslo výkresu XXXXXXXXXX	Název součásti Převodovka	Díl číslo 1_2	Zakázka Diplomová práce			
Operátor Kulíšek	Datum 10 Mai 2018	Oddělení KMS				
Název	Označení	Naměřeno	Jm. hod.	Horní tol.	Dolní tol.	Rozdíl
Průměr válec_1	D	100,010	100,000	100,000	100,022	0,010
Vzdálenost kart_1	DistKart	75,022	75,000	75,050	74,950	0,022
Vzdálenost kart_1_1	DistKart	80,035	80,000	80,050	79,950	0,035
Válcovitost_1	Vál	0,010	0,000	0,011	0,000	0,010
Průměr válec_2	D	100,013	100,000	100,000	100,022	0,013
Válcovitost_2	Vál	0,014	0,000	0,011	0,000	0,014
Souosost_1	Sou	0,011	0,000	0,030	0,000	0,011

Celkový výsledek:

Všechny charakteristiky:	7
...v toleranci:	6
...mimo toleranci:	1

V tabulkách 5.5 a 5.6 byly zaznamenány rozměry a geometrické tolerance měřícím přístrojem OPTON UMC 850 - ZEISS Calypso. Pro každou výrobní variantu bylo provedeno měření na pěti vzorcích (viz příloha 1).

### 5.2.1 Vyhodnocení pomocí statistiky

Všechny vyhodnocované veličiny jsou uváděny v milimetrech. Každá naměřená veličina byla pomocí vzorců (5.3 až 5.8), popřípadě (5.9) vyhodnocena samostatně a výsledné zpracování je uvedeno v příslušném grafu a tabulce [14].

Střední hodnota:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i \text{ [mm]} \quad (5.3)$$

kde:  $\bar{X}$ ...střední hodnota [mm]  
 $X_i$ ...naměřená hodnota [mm]  
 $n$ ...počet měření [-]

Odhad směrodatné odchylky:

$$S_X = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \text{ [mm]} \quad (5.4)$$

kde:  $\bar{X}$ ...střední hodnota [mm]  
 $X_i$ ...naměřená hodnota [mm]  
 $n$ ...počet měření [-]  
 $S_X$ ...směrodatná odchylka [mm]

Meze dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty:

$$M_{D2} = \bar{X} - t_{1-\frac{\alpha}{2};n-1} \cdot \frac{S_X}{\sqrt{n}} \text{ [mm]} \quad (5.5)$$

$$M_{H2} = \bar{X} + t_{1-\frac{\alpha}{2};n-1} \cdot \frac{S_X}{\sqrt{n}} \text{ [mm]} \quad (5.6)$$

kde:  $\bar{X}$ ...střední hodnota [mm]  
 $n$ ...počet měření [-]  
 $t_{1-\frac{\alpha}{2};n-1}$ ...koeficient Studentova rozdělení (viz příloha 4) [-]  
 $S_X$ ... směrodatná odchylka [mm]  
 $M_{D2}$ ...dolní mez dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty [mm]  
 $M_{H2}$ ...horní mez dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty [mm]



Meze dvoustranného statistického tolerančního intervalu:

$$L_{i2} = \bar{X} - k_{2(n,p,1-\alpha)} \cdot S_X \text{ [mm]} \quad (5.7)$$

$$L_{i2} = \bar{X} + k_{2(n,p,1-\alpha)} \cdot S_X \text{ [mm]} \quad (5.8)$$

kde:  $\bar{X}$ ...střední hodnota [mm]  
 $S_X$ ... směrodatná odchylka [mm]  
 $k_{2(n,p,1-\alpha)}$ ...koeficient normálního rozdělení [-]  
 $L_{i2}$ ...dolní mez dvoustranného statistického tolerančního intervalu [mm]  
 $L_{s2}$ ...horní mez dvoustranného statistického tolerančního intervalu [mm]

Meze jednostranného statistického tolerančního intervalu:

$$L_{i2i} = \bar{X} + k_{1(n,p,1-\alpha)} \cdot S_X \text{ [mm]} \quad (5.9)$$

kde:  $\bar{X}$ ...střední hodnota [mm]  
 $S_X$ ... směrodatná odchylka [mm]  
 $k_{1(n,p,1-\alpha)}$ ...koeficient normálního rozdělení [-]  
 $L_{s2i}$ ...horní mez jednostranného statistického tolerančního intervalu [mm]

## 5.2.2 Vyhodnocení průměrů děr

Bylo vyhodnocováno, zda je dodržena předepsaná tolerance rozměru děr ( $\varnothing 100 \text{ H6}$ ).

### Vzorový výpočet pro variantu A

Konfidenční interval střední hodnoty byl stanoven jako dvoustranný pro konfidenční úroveň  $(1-\alpha) = 0,955$ , statistický toleranční interval byl stanoven rovněž jako dvoustranný pro konfidenční úroveň  $(1-\alpha) = 0,95$  a pro podíl souboru  $p = 0,90$ . Všechny vypočítané výsledky jsou uvedeny v tabulce 5.7.

Střední hodnota průměrů variantu A:

$$\overline{\varnothing D_A} = \frac{1}{10} \cdot (100,012 + 100,008 + 100,009 + 100,015 + 100,010 + 100,017 + 100,007 + 100,014 + 100,016 + 100,014) = 100,0122 \text{ mm}$$

Odhad směrodatné odchylky průměrů pro variantu A:

$$S_D = \sqrt{\frac{1}{10-1} \cdot \left[ (100,012 - 100,0122)^2 + (100,008 - 100,0122)^2 + (100,009 - 100,0122)^2 + (100,015 - 100,0122)^2 + (100,010 - 100,0122)^2 + (100,017 - 100,0122)^2 + (100,007 - 100,0122)^2 + (100,016 - 100,0122)^2 + 2 \cdot (100,014 - 100,0122)^2 \right]} = 0,003521 \text{ mm}$$

Meze dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty pro variantu A:

Dolní mez:

$$M_{D2D} = 100,0122 - 3,25 \cdot \frac{0,003521}{\sqrt{10}} = 100,00858 \text{ mm}$$

Horní mez:

$$M_{H2D} = 100,0122 + 3,25 \cdot \frac{0,003521}{\sqrt{10}} = 100,01582 \text{ mm}$$

Meze dvoustranného statistického tolerančního intervalu:

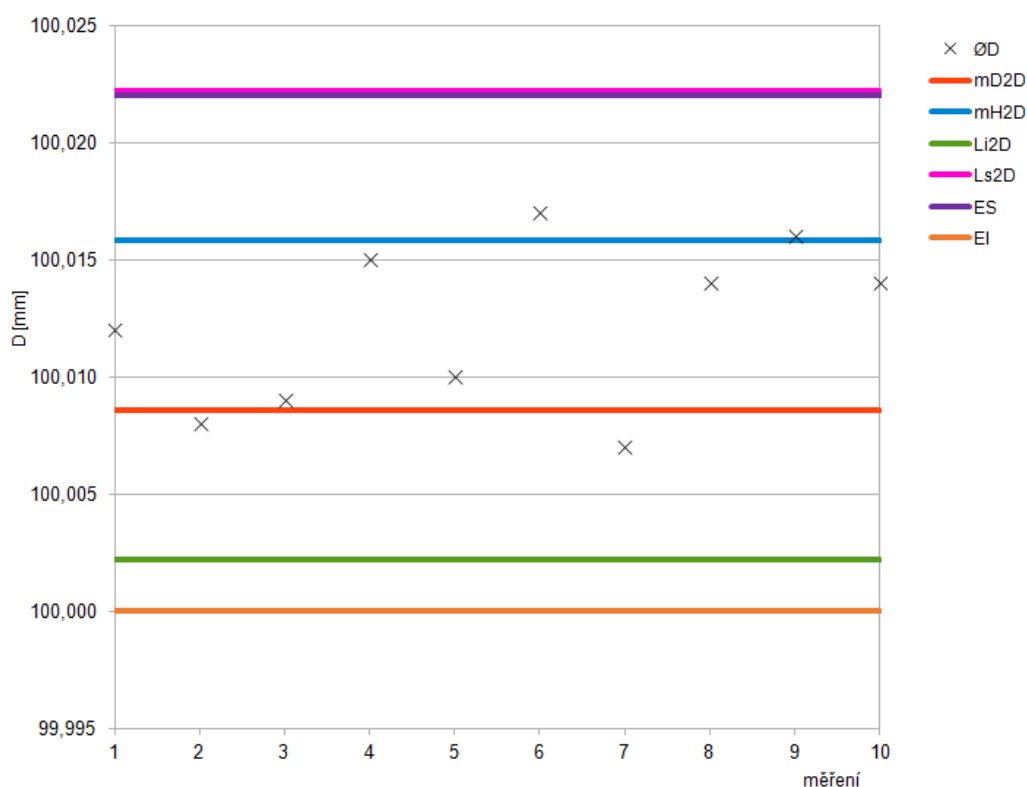
Dolní mez:

$$L_{i2D} = 100,0122 - 2,84 \cdot 0,003521 = 100,0022 \text{ mm}$$

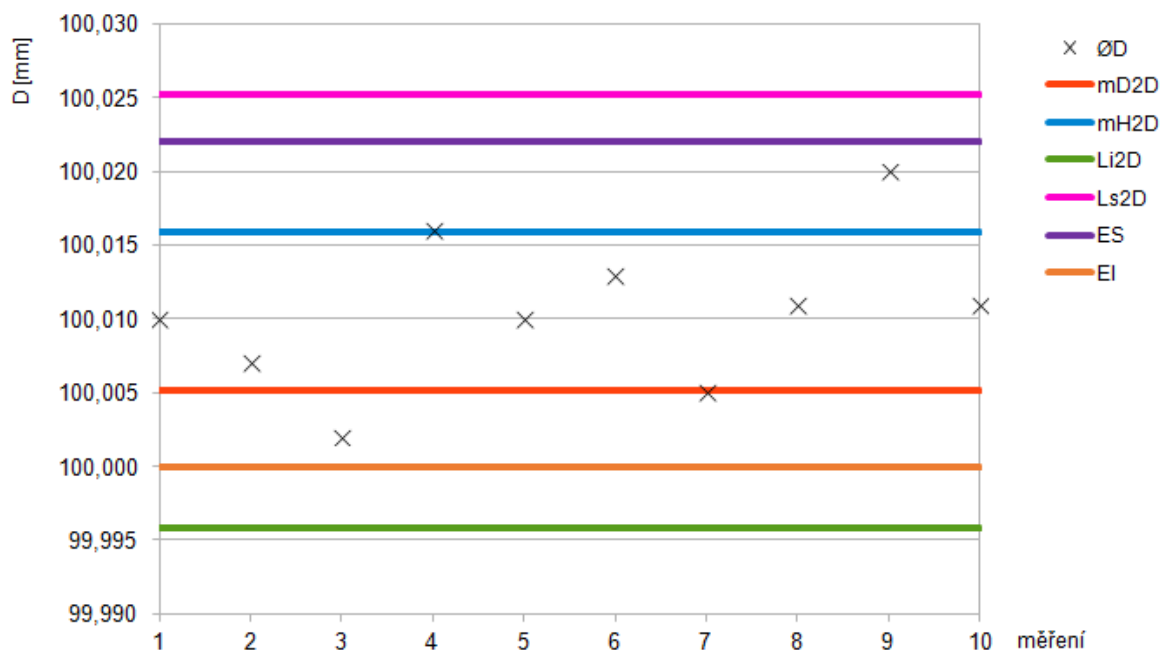
Horní mez:

$$L_{s2D} = 100,0122 + 2,84 \cdot 0,003521 = 100,0222 \text{ mm}$$

Z grafů na obr. 5.2 a 5.3 je vidět, že u varianty A je menší rozptyl naměřených hodnot. Všechny naměřené hodnoty u varianty A se vešly do dvoustranného statistického tolerančního intervalu. A 70 % všech hodnot je v mezích dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty. Naopak u varianty B jedna hodnota přesáhla statistický interval a uvnitř dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty leží pouze 60 % naměřených dat.



Obr. 5.2 Graf vyhodnocení průměrů děr Varianta A



Obr. 5.3 Graf vyhodnocení průměrů děr Varianta B

Tab. 5.7 Vypočítané hodnoty pro vyhodnocení průměrů děr

Varianta	$L_{s2D}$ [mm]	$L_{i2D}$ [mm]	$M_{H2D}$ [mm]	$M_{D2D}$ [mm]	$S_D$ [mm]	$\overline{\Phi D_A}$ [mm]
A	100,0222	100,0022	100,01582	100,00858	0,003521	100,0122
B	100,02524	99,995758	100,01583	100,00517	0,0051908	100,0105

### 5.2.3 Vyhodnocení válcovitosti děr

Bylo vyhodnocováno, zda je dodržena předepsaná válcovitost děr ( $\text{Ø}100 \text{ H6}$ ).

#### Vzorový výpočet pro variantu A díru 1

Konfidenční interval střední hodnoty byl stanoven jako dvoustranný pro konfidenční úroveň  $(1-\alpha) = 0,955$ , statistický toleranční interval byl stanoven jako jednostranný pro konfidenční úroveň  $(1-\alpha) = 0,95$  a pro podíl souboru  $p = 0,90$ . Všechny vypočítané výsledky jsou uvedeny v tabulce 5.8.

Střední hodnota válcovitosti:

$$\overline{V_{\text{ál}}} = \frac{1}{5} \cdot (0,008 + 0,009 + 0,011 + 0,008 + 0,008) = 0,0088 \text{ mm}$$

Odhad směrodatné odchylky válcovitosti:

$$S_{V_{\text{ál}}} = \sqrt{\frac{1}{5-1} \cdot [3 \cdot (0,008 - 0,0088)^2 + (0,009 - 0,0088)^2 + (0,011 - 0,0088)^2]} \\ = 0,001304 \text{ mm}$$

Meze dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty:

Dolní mez:

$$M_{D2Vál} = 0,0088 - 4,604 \cdot \frac{0,001304}{\sqrt{5}} = 0,0061154 \text{ mm}$$

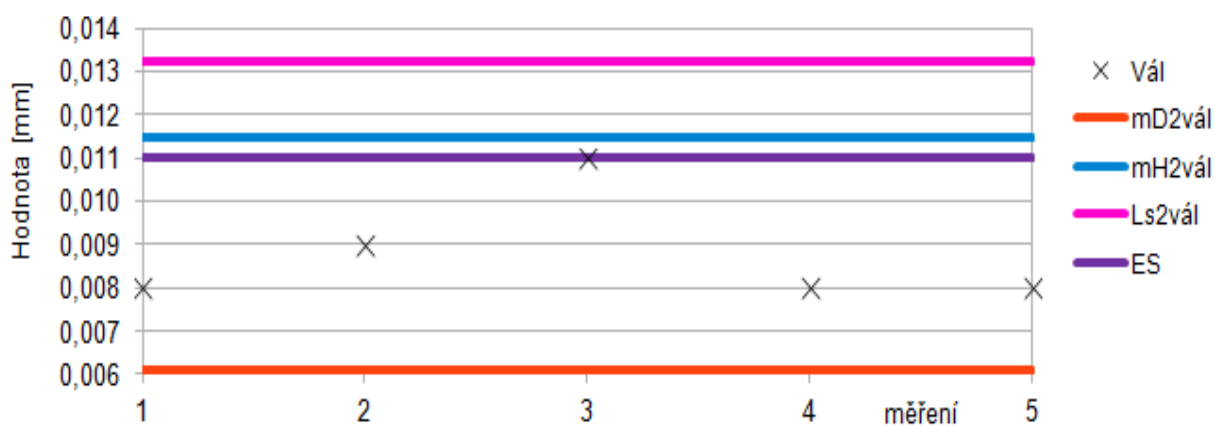
Horní mez:

$$M_{H2Vál} = 0,0088 + 4,604 \cdot \frac{0,001304}{\sqrt{5}} = 0,0114846 \text{ mm}$$

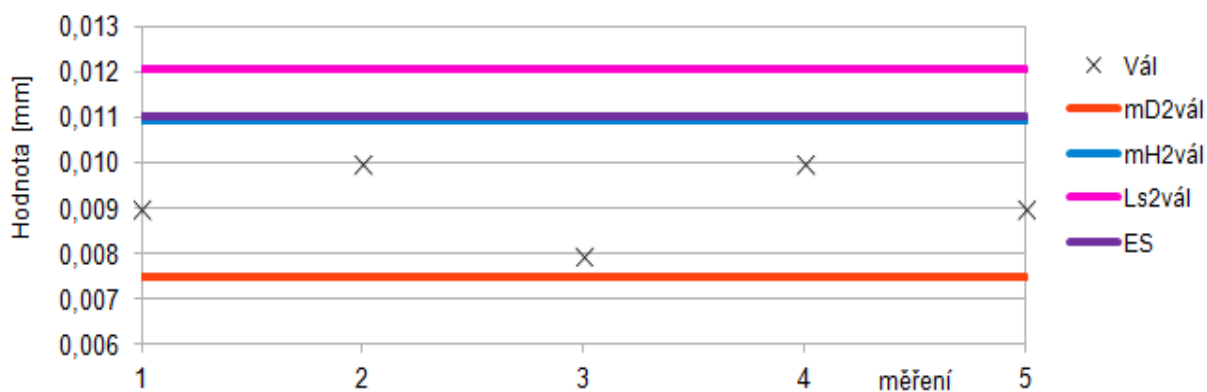
Meze jednostranného statistického tolerančního intervalu:

Horní mez:

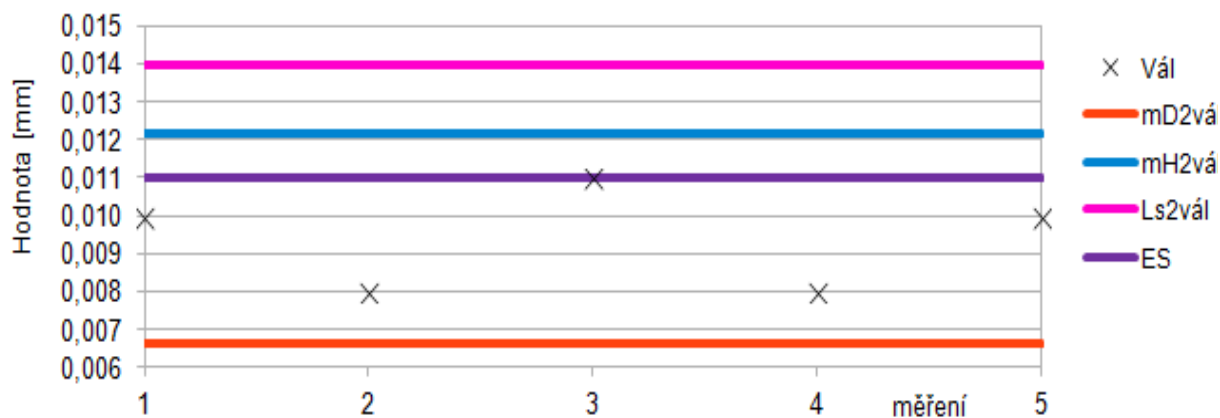
$$L_{s2Vál} = 0,0088 - 3,41 \cdot 0,001304 = 0,0132461 \text{ mm}$$



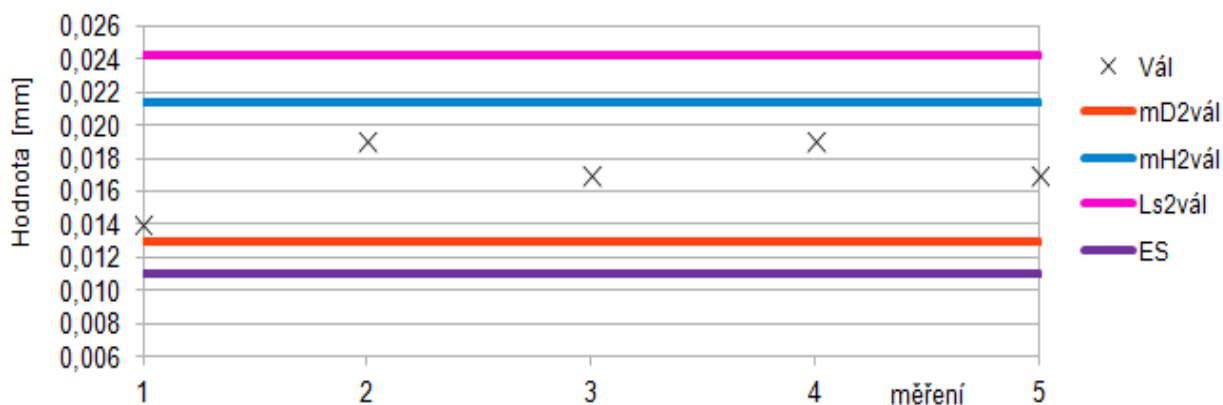
Obr. 5.4 Graf vyhodnocení válcovitosti díry 1 pro variantu A



Obr. 5.5 Graf vyhodnocení válcovitosti díry 2 pro variantu A



Obr. 5.6 Graf vyhodnocení válcovitosti díry 1 pro variantu B



Obr. 5.7 Graf vyhodnocení válcovitosti díry 2 pro variantu B

Tab. 5.8 Vypočítané hodnoty pro vyhodnocení válcovitosti

Díra	$M_{D2Vál}$ [mm]	$M_{H2Vál}$ [mm]	$L_{s2Vál}$ [mm]	$S_{Vál}$ [mm]	$\bar{Vál}$ [mm]
A 1	0,0061154	0,0114846	0,132461	0,001304	0,0088
A 2	0,0074773	0,0109227	0,012053	0,0008367	0,0092
B 1	0,0066376	0,0121624	0,013975	0,0013416	0,0094
B 2	0,0129804	0,0214196	0,024184	0,0020494	0,0172

Z grafů na obr. 5.4 a 5.5 pro vyhodnocení válcovitosti děr ve variantě A je zřejmé, že všechny hodnoty leží v mezích dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty i v rozmezí jednostranného statistického tolerančního intervalu. Zároveň všechny naměřené hodnoty leží pod povolenou odchylkou rozměru válcovitosti.

Z grafů na obr. 5.6 a 5.7 pro vyhodnocení válcovitosti děr ve variantě B vidíme, že díra 2 leží na povolenou odchylkou rozměru, a to ve všech měřených případech. Naměřené hodnoty díry 1 leží pod povolenou odchylkou válcovitosti.

#### 5.2.4 Vyhodnocení sousosti děr

Bylo vyhodnocováno, zda je dodržena předepsaná sousost děr (Ø100 H6).

#### Vzorový výpočet pro variantu A

Konfidenční interval střední hodnoty byl stanoven jako dvoustranný pro konfidenční úroveň  $(1-\alpha) = 0,955$ , statistický toleranční interval byl stanoven jako jednostranný pro konfidenční úroveň  $(1-\alpha) = 0,95$  a pro podíl souboru  $p = 0,90$ . Všechny vypočítané výsledky jsou uvedeny v tabulce 5.9.

Střední hodnota válcovitosti:

$$\overline{Sou} = \frac{1}{5} \cdot (0,025 + 0,028 + 0,026 + 0,022 + 0,029) = 0,026 \text{ mm}$$

Odhad směrodatné odchylky válcovitosti:

$$S_{Sou} = \sqrt{\frac{1}{5-1} \cdot \left[ (0,025 - 0,026)^2 + (0,028 - 0,026)^2 + (0,026 - 0,026)^2 + (0,022 - 0,026)^2 + (0,029 - 0,026)^2 \right]}$$

$$= 0,0027386 \text{ mm}$$

Meze dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty:

Dolní mez:

$$M_{D2Sou} = 0,026 - 4,604 \cdot \frac{0,0027386}{\sqrt{5}} = 0,0203613 \text{ mm}$$

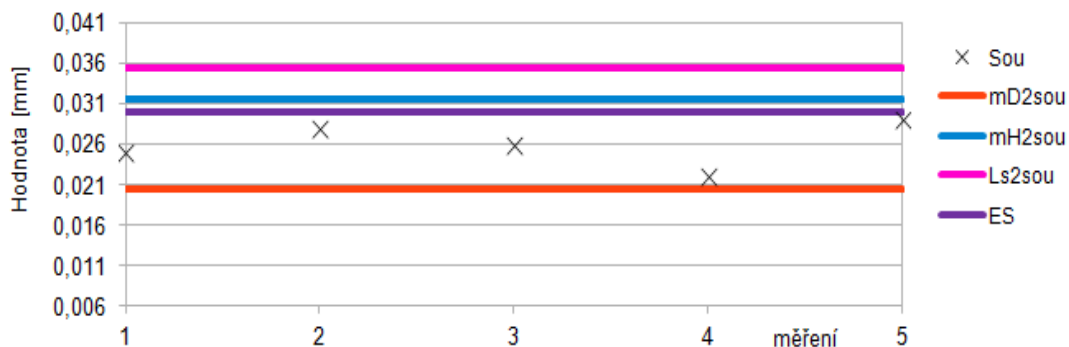
Horní mez:

$$M_{H2Sou} = 0,026 + 4,604 \cdot \frac{0,0027386}{\sqrt{5}} = 0,0316387 \text{ mm}$$

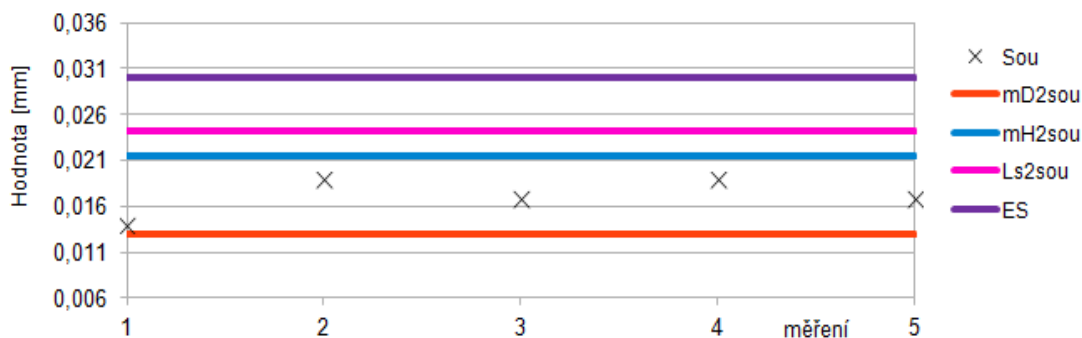
Meze jednostranného statistického tolerančního intervalu:

Horní mez:

$$L_{S2Sou} = 0,026 - 3,41 \cdot 0,0027386 = 0,0353387 \text{ mm}$$



Obr. 5.8 Graf vyhodnocení souososti pro variantu A



Obr. 5.9 Graf vyhodnocení souososti pro variantu B

Tab. 5.9 Vypočítané hodnoty pro vyhodnocení souososti děr

Varianta	$L_{S2Sou}$ [mm]	$M_{H2Sou}$ [mm]	$M_{D2Sou}$ [mm]	$S_{Sou}$ [mm]	$\overline{Sou}$ [mm]
A	0,0353387	0,0316387	0,0203613	0,0027386	0,026
B	0,0241884	0,0214196	0,0129804	0,0020494	0,0172

Z grafů na obr. 5.8 a 5.9 je patrné, že lepší hodnoty souososti byly dosaženy u varianty B, kde meze dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty i mez jednostranného statistického tolerančního intervalu leží pod hodnotou nejvyšší povolené odchylky souososti. U varianty A leží všechny hodnoty pod hodnotou nejvyšší povolené odchylky souososti.

### 5.3 Výrobní čas

Z hlediska výrobního času jsou obě porovnávané výrobní varianty téměř stejné. Vzniklá úspora vzhledem k času výroby ložiskových děr je zanedbatelně malá vzhledem ke složitosti celé součásti a jejímu výrobnímu času. Z toho plyne, že z hlediska časové úspory lze obě varianty považovat za srovnatelné. Jediný výrazný rozdíl je, když stroj mění ve variantě B nástroje.

### 5.4 Cena nástrojů

Výrobní varianty byly také porovnávány dle ceny zařizovací sady nástrojů. V tabulkách 5.10 a 5.11 jsou uvedeny jednotlivé ceny nástrojů.

Tab. 5.10 Zařizovací sada nástrojů pro variantu A

Nástroj	Příslušná VBD	Kusů	Cena [Kč]
Vrták CoroDrill 880-D0840V80-03		1	51750
	880-07 04 W12H-P-GR 4024	2	485
	880-07 04 06H-C-GR 1044	2	474
CoroBore BR20-116CC12F-C6		1	38535
	CCMT 120408-UR 4335	2	355
CoroBore 826-112TC11-C6HP		1	61780
	TCMT 110304-PF 4325	1	248
Celkem			154693

Tab. 5.11 Zařizovací sada nástrojů pro variantu B

Nástroj	Příslušná VBD	Kusů	Cena [Kč]
Vrták CoroDrill 880-D0840V80-03		1	51750
	880-07 04 W12H-P-GR 4024	2	485
	880-07 04 06H-C-GR 1044	2	474
CoroBore BR20-116CC12F-C6		2	38535
	CCMT 120408-UR 4335	4	355
CoroBore 826-112TC11-C6HP		2	61780
	TCMT 110304-PF 4325	2	248
Prodlužovací adaptér Coromant Capto C6-391.01-63 185		2	10265
Celkem			275785

Vzhledem k navržené technologii výrobní varianty B je nutno použít prodlužovací adaptér, který umožní vyvrtávání otvoru s velkým vyložení nástroje. Z tohoto důvodu je po finanční stránce výhodnější varianta výroby A, kde dochází k úspoře za nástroje, a to ve výši 121092 Kč.

## 5.5 Řezné podmínky

Řezné podmínky byly zvoleny na základě doporučených hodnot pro jemné vyvrtávání od společnosti Sandvik CZ, s.r.o. a upraveny podle dlouholeté zkušenosti obsluhy stroje na výsledné hodnoty:

- řezná rychlost:  $v_c = 130 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ,
- posuv na otáčku:  $f_n = 0,09 \text{ mm}$ ,
- šířka záběru ostří:  $a_p = 0,4 \text{ mm}$ .



## 6 DISKUSE

### 6.1 Ekologie

Převodová skříň pro naviják je stroj, který ke svému chodu vyžaduje značné množství oleje. Tento olej nesmí v žádném případě uniknout z převodové skříně, jelikož naviják jako stroj bývá připevněn k traktoru nebo jinému vozidlu. Traktory pracují v lesích, kde je velice nežádoucí únik jakýchkoli znečišťujících látek. Únik těchto látek by mohl zapříčinit řadu problémů pro životní prostředí v dané oblasti. Z těchto důvodů musí být převodová skříň jako jedna ze součástí navijáku obsahující olej velice dobře utěsněna. Ve zpracovávaném případě jsou utěsněna jak jednotlivá víka uzavírající skříň pomocí O kroužků, tak i vstupy a výstupy hřídel z převodovky, a to pomocí hřídelových těsnících kroužků.

Při správném používání a servisu by tak nemělo docházet k nežádoucímu úniku kapalin z převodové skříně [13].

### 6.2 Životnost a výměna ložisek, servis

Použitá valivá ložiska v převodové skříně jsou normalizované součásti, a tudíž snadno dostupné v každém specializovaném obchodě po celé České republice. V zabaleném stavu od výrobce jsou konzervována a vydrží dlouhou dobu, proto je možné mít je po ruce, když je potřeba. Samotná montáž a demontáž ložisek je vzhledem k navrženému uložení a upevnění velice snadná. V případě poruchy je možné, aby si zákazník vyměnil potřebné ložisko, popřípadě těsnění sám na místě. To zákazníkovi šetří čas, který by musel strávit čekáním na servis.

Životnost ložisek vychází z jejich únosnosti a také ze způsobu používání stroje. Ložiska jsou dimenzována tak, aby vydržela větší zatížení, než je u stroje povolené. Toto povolené zatížení je navrženo vzhledem k velikosti stroje a všech jeho součástí. Při překročení povoleného zatížení by mělo dojít k prokluzu spojky spojující hřídel vystupující z převodové skříně navijáku s bubnem, na který je navíjeno lano, na němž je zavěšeno břemeno.

Při výměně ložisek by se mělo postupovat podle metodiky udávané výrobcem ložisek. Kvalitní zpracování pro správný postup montáže a demontáže ložisek a hřídelových těsnění zpracovala společnost SKF (příloha 2) [51].

## ZÁVĚRY

Návrh převodové skříně pro naviják vychází z požadavků a technických parametrů, které musí naviják splňovat. Převodová skříň má navrženo uchycení v sestavě navijáku tak, aby byla zajištěna její správná poloha a tím i funkce navijáku jako celku.

Při konstrukčním návrhu skříně převodovky byla zvolena kuželíková ložiska pro uložení šnekové hřídele. Kuželíková ložiska byla zvolena z důvodu možného vzniku axiálních sil, tj. ve směru hřídele. Pro uložení hřídele, na které je šnekové kolo byla zvolena kuličková ložiska jednořadá, a to z důvodu přenosu radiálních sil, které na hřídel působí skrze lano, které je navijeno na buben navijáku. Buben navijáku je na hřídeli se šnekovým kolem uložen pomocí dalších kuličkových ložisek.

Výrobní stroje a nástroje v kapitole 4 byly zvoleny tak, aby byla umožněna dostatečná přesnost výroby ložiskových děr. Kontrolní a měřicí nástroje uvedené v kapitole 4 byly vybrány, tak aby byly schopny měřit v požadované předepsané přesnosti a vzhledem k velikosti a hmotnosti celé převodové skříně.

Navržené varianty technologie výroby ložiskových děr vychází z dostupných strojů a nástrojů uvedených v kapitole 4. Obě varianty byly posuzovány z hlediska kvality povrchu a rozměrových tolerancí, které byly předepsány na výrobním výkrese součásti.

Z technicko-ekonomického zhodnocení vyplývá, že výhodnější výrobní variantou je varianta A, kde dochází k úspoře nákladů za zařizovací sadu nástrojů ve výši 121092 Kč, a to z důvodu většího počtu vyvrtávacích hlav a tím i VBD ve variantě B. Kdyby firma neměla od každé vyvrtávací hlavy více kusů, muselo by se použít jednoho prodlužovacího adaptéru a jedné vyvrtávací hlavy pro dokončování.

Zároveň lze vidět, že u výrobní varianty B nebyla dodržena válcovitost díry 2. Toto nedodržení válcovitosti je nejspíše způsobeno nedostatečnou tuhostí soustavy prodlužovacího adaptéru a vyvrtávacích hlav, špatně zvolenými řeznými parametry nebo nevyvážeností prodlužovacího adaptéru. Varianta se dvěma nástroji byla zvolena tímto způsobem, aby zjistila případnou chybu v použitých nástrojích a nadstavcích.

Z hlediska výrobních časů jsou na tom obě varianty podobně, proto výrobní čas není hlavním rozhodujícím kritériem.

Po zjištění nedodržení válcovitosti u jedné z děr prodlužovací adaptér Coromant Capto C6-391.01-63 18, který byl použit pro dokončování, byl poslán do firmy Sandvik CZ s.r.o. na nové vyvážení. Nevyváženost mohla vzniknout nepozorností obsluhy, například mohlo dojít k upuštění adaptéru na zem a tím k nepatrnému poškození. Po vyvážení adaptéru by měly být dodrženy geometrické tolerance, které jsou předepsány na výkrese.

Z ekologického hlediska byla převodová skříň navržena tak, aby nedocházelo k úniku maziv, popřípadě jiných znečišťujících látek do okolního prostředí. Přesnost výroby děr je pro utěsnění velice důležitá, protože těsnění musí dokonale uzavřít olejový prostor převodovky.

## Seznam použitých zdrojů

1. BALOUNOVÁ, Hana. *Studium tření náhrad kyčelního kloubu*. Brno, 2013, 58 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Martin Vrbka, Ph.D.
2. *Bohdan Bolzano, s.r.o.: Hutní materiály* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP\\_%20Tycova\\_ocel/EN\\_10025/MOP\\_prehled\\_vlastnosti\\_S235JR.pdf](https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10025/MOP_prehled_vlastnosti_S235JR.pdf)
3. *Český statistický úřad: Katalog produktů* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/v-ceskych-lesich-se-tezi-vice-dreva>
4. *DMG MORI: Products* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://en.dmgmori.com/products/machines/milling/5-axis-milling/dmf/dmf-180-linear>
5. *E-Konstrukter: Válcovitost* [online]. In: . [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/files/gallery/valcovitost-1.png>
6. *ELUC: Vyvrátání* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1217>
7. FIALA, Zdeněk. *Experimentální metody: Drsnost*. Brno, 2014.
8. FIŠEROVÁ, Ladislava. *Schéma šroubovitého vrtáku* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/11300963/>
9. *Forest Meri: Lesní technika* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.forestmeri.cz/navijaky?itemsPerPage=10>
10. *Hans-Jürgen Geiger: Store Content* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.geiger-germany.com/store/store.php?action=showdetail&itemid=293333&lang=english>
11. *IDNES.cz: Auto* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://auto.idnes.cz/foto.aspx?r=automoto&c=A130818\\_203039\\_automoto\\_vok&foto=VOK4d4bcb\\_Mercedes\\_4\\_aut.jpg](https://auto.idnes.cz/foto.aspx?r=automoto&c=A130818_203039_automoto_vok&foto=VOK4d4bcb_Mercedes_4_aut.jpg)
12. *IDNES.cz: Zprávy* [online]. 9.10.2012 [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://zpravy.idnes.cz/historie-lesniho-a-vodniho-hospodarstvi-ffv-/domaci.aspx?c=A121009\\_114533\\_domaci\\_hv](https://zpravy.idnes.cz/historie-lesniho-a-vodniho-hospodarstvi-ffv-/domaci.aspx?c=A121009_114533_domaci_hv)
13. *Katera vozidel a motorů: Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.kvm.tul.cz/getFile/id:1922>
14. KARPÍŠEK, Zdeněk. *Matematika IV: Statistika a pravděpodobnost*. 3. vyd. Olomoučany: CERM, 2007. ISBN 978-80-241-3380-9.
15. KEMKA, Vladislav. *Stavba a provoz strojů: stroje a zařízení pro SPŠ strojní*. Praha: Informatorium, 2009. ISBN 978-80-7333-075-0.

16. MÁLIK, Ladislav. *Časti a mechanizmy strojov v príkladoch a úlohách*. Žilina: Žilinská univerzita, 2004. ISBN 80-807-0260-8.
17. MEDVECKÝ, Štefan. *Základy konštruovania*. Žilina: Edis, 1999. ISBN 80-710-0547-9.
18. *MEZISTROMY: Les* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.mezistromy.cz/les/tezba-lesa/odborny>
19. MIČKAL, Karel. *Strojníctví: části strojů : pro učební a studijní obory SOU a SOŠ*. Praha: Sobotáles, 1995. ISBN 80-859-2001-8.
20. *MITCalc: Bearing choice* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [http://www.mitcalc.cz/doc/help/cz/c\\_bearing\\_choice.htm](http://www.mitcalc.cz/doc/help/cz/c_bearing_choice.htm)
21. *Náradí a nástroje s.r.o.: Nástroje na otvory* [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: [http://naradinastrojeuh.cz/nastroje\\_otvory.php](http://naradinastrojeuh.cz/nastroje_otvory.php)
22. NOVÁK, J. *Funkční plochy a struktura povrchu*. Brno, 2008, 84 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Pavel Svoboda CSc.
23. *Odborné vzdělání s moderní technikou: Drsnost povrchu* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://files.ovmt.webnode.cz/200000030-3094f328a0/Drsnost%20povrchu.pdf>
24. *ORVEX: Naviják 5002 PENTO* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.orvex.com/product/sk/Navijak-5002-PENTO>
25. OSIČKA, Karel. *Technologická identifikace kvality povrchu obrobené plochy*. Brno, 2018.
26. *Pily-obchod.com: Elektrické navijáky* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.pily-obchod.com/dilenske-vybaveni/zvedaci-technika/lanove-zvedaky-navijaky/7835-elektricky-navijak-golemwinch-7-7-tun-12v.htm>
27. *Prodag Zlín: Lesnické navijáky KR PAN* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.prodageshop.cz/lesnicke-navijaky-krpan>
28. *Převodovky Malina Vrše, s.r.o.: Servis* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.opravujeme-prevodovky.cz/poskozeni-prevodovek/>
29. *RELIANCE: Agricultural Bearings* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.reliancebearing.ie/product/agricultural-bearings-2/>
30. *SANDVIK COROMANT: Soustružnické břitové destičky CoroTurn 107* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/productdetails.aspx?c=TCMT%2011%2003%2004-PF%20%20%20%204325>
31. *SANDVIK COROMANT: Řezné síly* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/boring/finishing/how-to-apply/cutting-forces/pages/default.aspx>

32. *SANDVIK COROMANT: Vyvážení* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/boring/finishing/how-to-apply/balancing/pages/default.aspx>
33. *SANDVIK COROMANT: Průhyb nástroje* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/boring/finishing/how-to-apply/tool-deflection/pages/default.aspx>
34. *SANDVIK COROMANT: Břítové destičky CoroDrill 880 pro vrtání* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=880-07%2004%2006H-C-GR%20%201044>
35. *SANDVIK COROMANT: Jemné vyvrtávání* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: [https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/corobore\\_825\\_826/Pages/product-details.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/corobore_825_826/Pages/product-details.aspx)
36. *SANDVIK COROMANT: Vyvrtávací nástroje* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/boring-and-reaming-tools.aspx>
37. *SANDVIK COROMANT: CoroBore 826 detail* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/corobore\\_826/Pages/product-details.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/corobore_826/Pages/product-details.aspx)
38. *SANDVIK COROMANT: CoroBore 825* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/corobore\\_826/Pages/product-details.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/corobore_826/Pages/product-details.aspx)
39. *SANDVIK COROMANT: CoroBore 825/826 XL* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/corobore\\_825\\_826\\_xl/pages/default.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/corobore_825_826_xl/pages/default.aspx)
40. *SANDVIK COROMANT: CoroBore 826* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/corobore\\_826/pages/default.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/corobore_826/pages/default.aspx)
41. *SANDVIK COROMANT: Prodlužovací adaptér Coromant Capto* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/productdetails.aspx?c=C6-391.01-63%20185>
42. *SANDVIK COROMANT: Dosažení úzkých tolerancí* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/boring/finishing/how-to-apply/achieving-close-hole-tolerances/pages/default.aspx>
43. *SANDVIK COROMANT: Nástroj pro jemné vyvrtávání CoroBore 826* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/productdetails.aspx?c=826-112TC11-C6HP>
44. *SANDVIK COROMANT: Soustružnické břítové destičky CoroTurn 107* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/productdetails.aspx?c=CCMT%2012%2004%2008-UR%20%20%20%204335>

45. SANDVIK COROMANT: *Hrubovací vyvrtávací nástroj CoroBore BR20 se dvěma břity* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/productdetails.aspx?c=BR20-116CC12F-C6>
46. SANDVIK COROMANT: *Břítové destičky CoroDrill 880 pro vrtání* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=880-07%2004%20W12H-P-GR%204024>
47. SANDVIK COROMANT: *Vrták CoroDrill 880 s vyměnitelnými břítovými destičkami* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/productdetails.aspx?c=880-D0840V80-03>
48. SEAL-Navijáky: *Lanové navijáky na lesní nástavbu* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://blog.seal-navijaky.cz/lanove-navijaky-lesni-nastavbu/>
49. Shigley: *Konstruování strojů, strojní součásti*. <https://kke.zcu.cz> [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/02\\_Silnicni-vozidla\\_4-6/5\\_MMP/004\\_Ozubena-kola---Klapka---P1.pdf](https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/02_Silnicni-vozidla_4-6/5_MMP/004_Ozubena-kola---Klapka---P1.pdf)
50. SKF: *Trvanlivost ložiska a únosnosti* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/super-precision-bearings/principles/bearing-life-and-load-ratings/index.html>
51. SKF: *Montáž ložisek* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.tpb.cz/editor/filestore/File/17.%20Montaz%20lozisek.pdf>
52. SKF: *Uspořádání a typy ložisek* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/principles/bearing-selection-process/bearing-type-arrangement/arrangements-and-their-bearing-types/index.html>
53. SKF: *Hřídelová těsnění* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [http://www.skf.com/binary/151-129139/10919\\_CZ\\_lowres.pdf](http://www.skf.com/binary/151-129139/10919_CZ_lowres.pdf)
54. *Strojrenství: Ložiska kluzná a valivá* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://strojrenstvi.studentske.cz/2010/10/9-loziska-kluzna-valiva.html>
55. *Střední průmyslová škola Ostrava - Vítkovice: Drsnost povrchu* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://www.spszengrova.cz/texty/texty/TEK/Drsnost\\_povrchu.pdf](https://www.spszengrova.cz/texty/texty/TEK/Drsnost_povrchu.pdf)
56. SVARWEB: *Vybrané oceli - vlastnosti a použití* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: [https://www.svarbazar.cz/phprs/showpage.php?name=oceli\\_pouziti](https://www.svarbazar.cz/phprs/showpage.php?name=oceli_pouziti)
57. SVOBODA, Pavel. *Základy konstruování*. Vyd. 4. Brno: CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-750-5.
58. *Techstroj: Vrtání a vyvrtávání* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/T/T15.pdf>
59. *Tribotechnika: Mazaná kluzná ložiska v extrémních podmínkách* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42013/mazana-kluzna-loziska-v-extremnich-podminkach.html>

60. *Tumlikovo: Drsnost obrobeného povrchu* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z:  
<http://www.tumlikovo.cz/drsnost-obrobeneho-povrchu/>
61. *Učitel.NET: Fyzika* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z: <http://www.ucitel.net/fyzika/treni>
62. VANĚK, Václav. *Základy konstruování: učební podklady pro cvičení. 2., nezměn. vyd.* Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2014. ISBN 978-80-261-0383-7.
63. *VŠB Fakulta elektrotechniky a informatiky Katedra elektrických strojů a přístrojů* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z:  
[http://fei1.vsb.cz/kat410/www453/soubory/texty/ucebni\\_texty/td/01-textyVSB/005\\_Drsnost%20povrchu.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat410/www453/soubory/texty/ucebni_texty/td/01-textyVSB/005_Drsnost%20povrchu.pdf)
64. *WHP Technik: Drsnoměr Rugosurf* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z:  
<http://www.whp.cz/drsnomer-rugosurf-90g.html>
65. *ZKL GROUP: Použití ložisek* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z:  
<http://www.zkl.cz/cs/pro-konstruktery/8-pouziti-lozisek>
66. *ZKL GROUP: Určení velikosti ložiska* [online]. [cit. 2018-05-22]. Dostupné z:  
<http://www.zkl.cz/cs/pro-konstruktery/5-urceni-velikosti-loziska>

## Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotka	Popis
$a_p$	[mm]	šířka záběru ostří
$a_1$	[-]	koeficient spolehlivosti
$a_{23}$	[-]	koef. materiálu, maziva, provozních podmínek a technologie výroby
ADJLX1	[mm]	maximální limit nastavení
AN	[deg,°]	hlavní úhel hřbetu
BD1	[mm]	průměr tělesa
$C$	[kN]	základní dynamická únosnost
CP	[bar]	tlak procesní kapaliny
$d_v$	[mm]	průměr předchozí díry
$D_v$	[mm]	průměr vrtáku
DCON	[mm]	spojovací průměr
DCN	[mm]	minimální řezný průměr
DCX	[mm]	maximální řezný průměr
EI	[mm]	horní úchylka rozměru
ES	[mm]	dolní úchylka rozměru
$f$	[-]	součinitel tření
$f_n$	[mm]	posuv na otáčku
$F_a$	[N]	skutečné axiální zatížení ložiska
$F_n$	[N]	normálová síla
$F_r$	[N]	skutečné radiální zatížení ložiska
$F_t$	[N]	třecí síla
$F_v$	[N]	odporová síla
$i$	[-]	převodový poměr
IC	[mm]	průměr vepsané kružnice
KAPR	[deg,°]	úhel břitu nástroje



$k_{1(n,p,1-\alpha)}$	[-]	koeficient normálního rozdělení pro jednostranný interval
$k_{2(n,p,1-\alpha)}$	[-]	koeficient normálního rozdělení pro dvoustranný interval
$l_r$	[ $\mu\text{m}$ ]	měřená délka profilu
LB1	[mm]	délka tělesa
LE	[mm]	účinná délka břitu
LF	[mm]	funkční délka
$L_{i2}$	[mm]	dolní mez dvoustranného statistického tolerančního intervalu
$L_{i2D}$	[mm]	dolní mez dvoustranného statistického tolerančního intervalu pro průměr díry
$L_{na}$	[ $10^6$ ot.]	upravená trvanlivost
$L_{s2}$	[mm]	horní mez dvoustranného statistického tolerančního intervalu
$L_{s2D}$	[mm]	horní mez dvoustranného statistického tolerančního intervalu pro průměr díry
$L_{s2i}$	[mm]	horní mez jednostranného statistického tolerančního intervalu
$L_{s2Sou}$	[mm]	horní mez jednostranného statistického tolerančního intervalu pro souosost díry
$L_{s2Vál}$	[mm]	horní mez jednostranného statistického tolerančního intervalu pro válcovitost díry
$L_{10}$	[ $10^6$ ot.]	základní trvanlivost
$L_{10h}$	[hod]	základní trvanlivost v hodinách
$M_{D2}$	[mm]	dolní mez dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty
$M_{D2D}$	[mm]	dolní mez dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty pro průměr díry
$M_{D2Sou}$	[mm]	dolní mez dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty pro souosost díry
$M_{D2Vál}$	[mm]	dolní mez dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty pro válcovitost díry
$M_{H2}$	[mm]	horní mez dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty
$M_{H2D}$	[mm]	horní mez dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty pro průměr díry
$M_{H2Sou}$	[mm]	horní mez dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty pro souosost díry
$M_{H2Vál}$	[mm]	horní mez dvoustranného konfidenčního intervalu střední hodnoty pro válcovitost díry
n	[-]	počet dílků (měření)
$n_s$	[ $\text{min}^{-1}$ ]	otáčky

OAH	[mm]	celková výška
$P$	[N]	ekvivalentní dynamické zatížení ložiska
$R$	[mm]	poloměr tělesa
$R_a$	[ $\mu\text{m}$ ]	střední aritmetická úchylka
$R_{a_i}$	[ $\mu\text{m}$ ]	hodnota $R_a$ v dané poloze
$R_{a_{Aij}}$	[ $\mu\text{m}$ ]	hodnota $R_a$ dané díry v dané variantě pro určitý vzorek
$R_{a_{Xj}}$	[ $\mu\text{m}$ ]	hodnota $R_a$ dané díry v dané variantě
$R_c$	[ $\mu\text{m}$ ]	průměrná výška profilu
$R_t$	[ $\mu\text{m}$ ]	celková výška profilu
$R_z$	[ $\mu\text{m}$ ]	maximální výška profilu
RE	[mm]	poloměr zaoblení špičky
RPMX	[ $\text{min}^{-1}$ ]	maximální rychlost otáčení
$s$	[mm]	tloušťka destičky
$S$	[ $\text{mm}^2$ ]	plocha třísky
$S_D$	[mm]	směrodatná odchylka pro průměr díry
$\overline{Sou}$	[mm]	střední hodnota pro souosost díry
$S_{Sou}$	[mm]	směrodatná odchylka pro souosost díry
$S_{Vál}$	[mm]	směrodatná odchylka pro válcovitost díry
$S_X$	[mm]	směrodatná odchylka
TCHAL	[mm]	dolní dosažitelná tolerance otvoru
TCHAU	[mm]	horní dosažitelná tolerance otvoru
$t_{1-\frac{\alpha}{2};n-1}$	[-]	koeficient Studentova rozdělení
$v_c$	[ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	řezná rychlost
$\overline{Vál}$	[mm]	střední hodnota pro válcovitost díry
WT	[kg]	hmotnost
$X$	[-]	součinitel radiálního zatížení ložiska
$\bar{X}$	[mm]	střední hodnota
$X_i$	[mm]	naměřená hodnota
$y_i$	[ $\mu\text{m}$ ]	velikost jednotlivých dílků profilu
$y(x)$	[-]	funkce popisující profil
$Y$	[-]	součinitel axiálního zatížení ložiska

---

$z$	[-]	počet břitů nástroje
$\kappa$	[-]	viskózní poměr
$\nu$	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	kinematická viskozita při provozní teplotě ložiska
$\nu_1$	$[m^2 \cdot s^{-1}]$	kinematická viskozita pro definovanou frekvenci otáček a daný rozměr
$\overline{\varnothing D_A}$	[mm]	střední hodnota pro průměr díry

## Seznam příloh

Příloha 1	Měřicí protokoly	
Příloha 2	Montáž ložisek	
Příloha 3	Materiálový list S235JR	
Příloha 4	Statistické tabulky	
Příloha 5	PŘEVODOVKA_NAVIJÁK	Č.V. DP_2018_001
Příloha 6	VÍKO_NAVIJÁK_1	Č.V. DP_2018_101
Příloha 7	VÍKO_NAVIJÁK_2	Č.V. DP_2018_102
Příloha 8	VÍKO_NAVIJÁK_3	Č.V. DP_2018_103
Příloha 9	VÍKO_NAVIJÁK_4	Č.V. DP_2018_104
Příloha 10	SKŘÍŇ_NAVIJÁK	Č.V. DP_2018_105
Příloha 11	HŘÍDEL_NAVIJÁK	Č.V. DP_2018_106
Příloha 12	NÁBOJ_NAVIJÁK	Č.V. DP_2018_107
Příloha 13	VÍKO_NAVIJÁK_	Č.V. DP_2018_108
Příloha 14	ŠNEKOVÁ_HŘÍDEL_NAVIJÁK	Č.V. DP_2018_109
Příloha 15	ŠNEKOVÉ_KOLO_NAVIJÁK	Č.V. DP_2018_110
Příloha 16	SKŘÍŇ_NAVIJÁK_POL	Č.V. DP_2018_111
Příloha 17	ŠROUB_NAVIJÁK	Č.V. DP_2018_112
Příloha 18	VÍKO_NAVIJÁK_1	Č.V. DP_2018_201
Příloha 19	SKŘÍŇ_NAVIJÁK_10	Č.V. DP_2018_202
Příloha 20	SKŘÍŇ_NAVIJÁK_SVAR	Č.V. DP_2018_203