



# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

## FAKULTA STROJNÍ



Ústav konstruování a částí strojů

**Návrh nového typu labyrintu pro rychloběžnou převodovku**

**Design of Labyrinth Packing for High Speed Gearbox**

Bakalářská práce

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. Roman Uhlíř, Ph.D.

**Adam Babor**

---

**Praha 2016**

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Návrh nového typu labyrintu pro rychloběžnou převodovku“ jsem zpracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 19. prosince 2016

Adam Babor

---

**Poděkování:**

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Romanu Uhlířovi, Ph.D. za obětavou spolupráci, dále mému konzultantu Ing. Petru Matějkovi z firmy Wikov Gear za jeho rady, které mi dával po celou dobu psaní mé bakalářské práce.

---

## Anotační list

Jméno autora:	<b>Adam Babor</b>
Název BP:	Návrh nového typu labyrintu pro rychloběžnou převodovku
Anglický název:	Design of Labyrinth Packing for High Speed Gearbox
Rok:	2016
Studijní program:	B2342 Teoretický základ strojního inženýrství
Obor studia:	2301R000 Studijní program je bezoborový
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí BP:	Ing. Roman Uhlíř, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Petr Matějka
Bibliografické údaje:	počet stran 49 počet obrázků 47 počet tabulek 1 počet příloh 3
Klíčová slova:	rychloběžná převodovka, převodovka, kontaktní těsnění, bezkontaktní těsnění, břitové těsnění, labyrintové těsnění
Keywords:	high speed gearbox, gearbox, contact seals, non-contact seals, lip seals, labyrinth packing
Anotace:	Obsahem této bakalářské práce je rešerše možných řešení utěsnění průmyslových převodovek a využití získaných poznatků k návrhu nového typu labyrintového těsnění. Zadavatelem bakalářské práce je firma Wikov Gear a zadání vychází z potřeby vyřešení unikání oleje po připojení spojky nebo příruby blízko k převodovce.
Abstract:	This bachelor's thesis analyzes possible sealing solutions of gearboxes. Results of the research led to the design of a new type of labyrinth packing. I was assigned the task of oil leakage after mounting a coupling (clutch) or a flange to a gearbox by Wikov Gear Company.

---

## Obsah

1. Úvod.....	- 6 -
2. Představení zadavatele.....	- 7 -
3. Upřesnění zadání.....	- 9 -
3.1. Požadavky zadavatele a cíl bakalářské práce.....	- 9 -
4. Utěsnění převodovek .....	- 10 -
4.1 Kontaktní těsnění.....	- 10 -
4.1.1 Gufero (hřídelový těsnící kroužek) .....	- 11 -
4.1.2 V-kroužky .....	- 17 -
4.1.2.1 Konstrukční prvky.....	- 17 -
4.1.2.2 Těsnost, obvodová rychlost.....	- 17 -
4.1.2.3 Provozní teplota a konstrukční materiály.....	- 20 -
4.1.2.4 Montáž .....	- 21 -
4.1.3 Kazetové těsnění.....	- 21 -
4.1.3.1 Konstrukční prvky.....	- 22 -
4.1.3.2 Těsnost .....	- 22 -
4.1.3.3 Pracovní podmínky.....	- 22 -
4.1.3.3.1 Teplota .....	- 22 -
4.1.3.3.1 Obvodová rychlost.....	- 23 -
4.1.3.3.1 Montáž .....	- 23 -
4.1.4 Plstěné kroužky .....	- 23 -
4.1.5 Mechanická těsnění .....	- 24 -
4.1.5.1 Konstrukční prvky.....	- 24 -
4.1.5.2 Provozní podmínky.....	- 24 -
4.1.6 Axiální hřídelové těsnění .....	- 25 -
4.1.6.1 Konstrukční prvky.....	- 25 -
4.1.6.2 Těsnost .....	- 26 -
4.1.6.3 Provozní podmínky.....	- 26 -
4.2 Bezkontaktní těsnění.....	- 26 -
4.2.1 Štěrbinová těsnění.....	- 27 -
4.2.2 Labyrintová těsnění .....	- 27 -
4.2.2.1 Těsnost .....	- 28 -
4.2.2.2 Materiály.....	- 28 -
4.2.2.3 Konstrukční prvky.....	- 28 -
4.2.2.4 Zafukované labyrinty .....	- 29 -
5. Praktická část – návrh těsnění .....	- 31 -
5.1 Vysvětlení problému.....	- 32 -

---

5.2	Současný labyrint .....	- 33 -
5.2.1	Konstrukční prvky .....	- 33 -
5.2.1.1	Segment .....	- 33 -
5.2.1.2	Břity .....	- 34 -
5.2.1.4	Uložení ve skříni .....	- 35 -
5.2.1.5	Přisávání vzduchu .....	- 37 -
5.3	Ostřikovací kroužek .....	- 38 -
5.4	Návrh nového labyrintu a ostřikovacího kroužku .....	- 39 -
5.4.1	Osazení a zkosení .....	- 39 -
5.4.2	Úprava přisávání .....	- 40 -
5.4.3	Úprava ostřikovacího kroužku .....	- 40 -
5.4.4	Sestavení .....	- 41 -
5.4.4.1	Vůle mezi statorem a rotorem .....	- 41 -
5.4.4.2	Uložení labyrintu ve skříni .....	- 42 -
5.4.4.3	Výpočet nalisování ostřikovacího kroužku .....	- 44 -
5.4.4.4	Spojovací součásti .....	- 44 -
6.	Závěrečné zhodnocení .....	- 45 -
	Použitá literatura .....	- 46 -
	Seznam obrázků .....	- 48 -
	Seznam tabulek .....	- 49 -
	Seznam příloh .....	- 49 -

---

## Seznam zkratk a symbolů

Ra	[ $\mu\text{m}$ ]	střední aritmetická úchylka profilu
$v_o$	[m/s]	obvodová rychlost
p	[MPa]	tlak v převodovce
$t_{\text{max}}$	[ $\mu\text{m}$ ]	tloušťka olejového filmu
P	[kW]	výkon převodovky
$n_1$	[1/min]	vstupní otáčky
$n_2$	[1/min]	výstupní otáčky
$d_o$	[mm]	vnější průměr ostřikovacího kroužku
D	[mm]	vnitřní průměr labyrintu
ES	[mm]	horní mezní úchylka díry
EI	[mm]	dolní mezní úchylka díry
es	[mm]	horní mezní úchylka hřídele
ei	[mm]	dolní mezní úchylka hřídele
$V_{\text{max}}$	[mm]	maximální vůle mezi statorem a rotorem
$V_{\text{min}}$	[mm]	minimální vůle mezi statorem a rotorem
d	[mm]	průměr
$\sigma$	[N/mm <sup>2</sup> ]	napětí

---



# 1. Úvod

Cílem předkládané bakalářské práce je provést rešerši v oblasti kontaktních a bezkontaktních hřídelových těsnění a provést konstrukční návrhy labyrintového utěsnění rychloběžné převodovky, které by zabraňovalo úniku oleje v případě blízkého připojení spojky nebo příruby.

Dané téma bylo zvoleno z důvodu možnosti podílet se na řešení konstrukčního problému na reálném projektu, který byl již realizován a objevil se u něho problém v podobě tekoucího labyrintového těsnění.

Bakalářská práce je rozdělena na dvě části. Do teoretické části je zahrnuta rešerše na téma utěsnění průmyslových převodovek. Při vypracování rešerše bylo čerpáno především z katalogů firem zabývajících se výrobou a distribucí průmyslových těsnění. V praktické části je popsáno stávající řešení utěsnění rychloběžné převodovky a předložen návrh úprav, které by měly řešit současný problém tekoucího labyrintového těsnění.

Při návrhu segmentů labyrintu a ostříkovacího kroužku byl použit 3D software Solid Edge, pomocí něhož je zhotoven 3D model a výrobní výkresy daných součástí. Pro výpočet nalisování ostříkovacího kroužku na hřídel byl použit program Kisssoft.

Předkladatel bakalářské práce vycházel při zhotovování návrhů ze znalostí nabytých za tři roky bakalářského studia a z rad zkušenějších konstruktérů ve firmě Wikov Gear. Práce mu dala možnost rozšířit si obzory v oblasti nabízených průmyslových těsnění. Za největší přínos je považováno pochopení funkce labyrintových těsnění a možnost provedení vlastního návrhu.





## 2. Představení zadavatele

Zadavatelem bakalářské práce je Wikov Gear, Tylova 1/57, 301 00 Plzeň, která patří do holdingu Wikov Industry, Wikov Gear je pokračovatelem části bývalého koncernu Škoda a má tedy více než 125 letou tradici ve výrobě převodovek a ozubených kol. Jednotlivé skupiny holdingu Wikov Industry ukazuje následující grafické uspořádání (obr. 2).



obr. 1.: Logo firmy Wikov [1]



obr. 2.: Struktura skupiny Wikov Industry [1]

- Wikov Industry je holdingová skupina s ředitelstvím v Praze.
- Wikov MGI se zabývá konstrukcí a výrobou speciálních převodovek pro široké spektrum průmyslových aplikací, kolejová vozidla a větrné turbíny.
- Wikov Gear se zabývá výrobou velkých převodovek a jejich dílů pro těžební průmysl, cementárny a pro ropný a plynárenský průmysl.
- ORBITAL2 je konstrukční kancelář pro větrné elektrárny.
- Wikov Sázavan je výrobní závod, který se specializuje na precizní obrábění komponent.

Skupina Wikov Industry má zastoupení v mnoha světových zemích např. v Číně, Rusku, Bulharsku, Indii, Íránu, Nizozemí, Belgii atd.

Jednatelem skupiny Wikov Industry a zároveň jediným akcionářem je Mgr. Martin Wichterle (obr. 3), vnuk českého chemika prof. Otty Wichterleho (vynálezce kontaktních čoček) a pravnuk zakladatele strojíren v Prostějově, kde v minulosti probíhala výroba lokomotiv, zemědělských strojů a automobilů. [1]



obr. 3.: Martin Wichterle [10]



### 3. Upřesnění zadání

Úkolem práce je vypracovat rešerši průmyslových těsnění převodovek. Dále pak porovnat jejich konstrukční řešení a navrhnout labyrintové těsnění a ostříkovací kroužek tak, aby návrhy odpovídaly požadavkům zadavatele a byly funkční.

#### 3.1. Požadavky zadavatele a cíl bakalářské práce

Součástí zadání je řešení problému unikání oleje z vnitřního prostoru převodovky po připojení příruby nebo spojky blízko skříně převodovky. Připojená příruba nebo spojka kvůli své vysoké obvodové rychlosti zvirí vzduch u skříně převodovky, ten začne proudit, vyvolá podtlak a způsobuje únik oleje. Doposud byl tento problém řešen stínícími plechy přišroubovanými přímo k labyrintu. Toto řešení je však nákladné, neestetické a v neposlední řadě zvyšuje celkovou hmotnost a cenu převodovky.

Zadavatel proto požaduje provést takové konstrukční úpravy labyrintu a odstříkovacího kroužku, aby nedocházelo k úniku oleje a nebylo nutné k labyrintu připojovat stínící plechy a podobné součásti.

Cílem bakalářské práce je provedení konstrukčního návrhu labyrintu a ostříkovacího kroužku a vypracování výkresové dokumentace s potřebnými výpočty. Je kladen důraz na smontovatelnost a funkčnost navrženého labyrintu. Labyrint by měl být bez problémů vyrobitelný stroji a nástroji dostupnými ve firmě Wikov Gear.



## 4. Utěsnění převodovek

Utěsnění je nepostradatelná součást konstrukce převodovek. Má dvě základní funkce – zabránění úniku oleje ven z převodovky a zabránění vniku nečistot do vnitřního prostoru převodovky. Dojde-li k úniku oleje, dojde též k nedostatečnému promazání ložisek a zároveň záběru ozubených kol. Zvýší se pak tření uvnitř ložisek a záběru ozubení, zvýší se teplota výše uvedených součástí. Tyto okolnosti povedou ke zvýšení celkové poruchovosti převodovek. V případě vniku nečistot do převodovky (prachu, vody atd.), se zkracuje servisní interval pro výměnu oleje kontaminovaného nečistotami. Tyto jevy jsou nežádoucí jak z hlediska správného fungování převodovky, tak z hlediska ekonomického. Čím delší odstávka, potřebná k výměně rotorů, ložisek a oleje, tím menší účinnost převodovky. Je tedy žádoucí, aby utěsnění bylo provedeno správně.

Vzhledem k tomu, že převodovky vyrobené ve firmě Wikov Gear jsou často aktivní v náročném prostředí – velmi prašné prostředí v cementářenském a těžebním průmyslu, výbušné prostředí, prostředí kde je převodovka v kontaktu se slanou vodou atd., je utěsnění převodovek jedním ze zásadních konstrukčních prvků, kterými se konstruktér zabývá.

K dispozici jsou dva základní typy těsnění – kontaktní a bezkontaktní. Kontaktní typy těsnění se nejčastěji používají u tzv. pomaluběžných převodovek – tj. u převodovek, kde obvodová rychlost hřídelů nepřesáhne mez únosnosti, kterou jsou jednotlivé typy kontaktních těsnění schopny snést. V případě překročení dané meze dochází k použití bezkontaktních typů těsnění, které jsou schopny unést vyšší obvodové rychlosti, avšak jejich konstrukce je daleko náročnější a málokdy dojde ke stoprocentně dokonalému utěsnění – téměř ve všech případech dochází k úniku těsněného média. Předmětem konstruktérova snažení tedy musí být, aby množství unikající látky bylo co možná nejmenší. [3]

### 4.1 Kontaktní těsnění

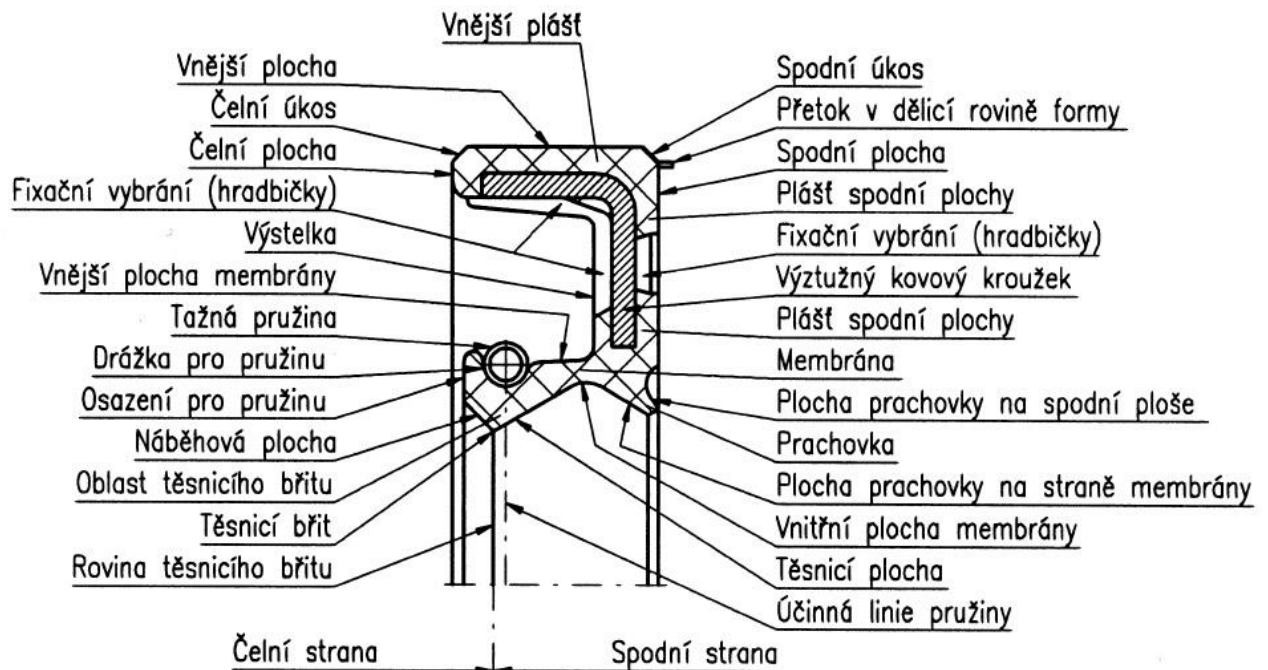
Kontaktní těsnění je založeno na kontaktu statoru a rotoru. Kontaktní typ těsnění dosahuje vysoké účinnosti, ovšem je limitován obvodovou rychlostí. Při kontaktu těsnění s rotorem dochází k opotřebení materiálu – je tedy nutné těsnění



v pravidelných intervalech měnit, aby bylo zajištěno bezproblémové fungování převodovky. [3]

### 4.1.1 Gufero (hřídelový těsnící kroužek)

Hřídelové těsnící kroužky jsou dotykové těsnící prvky určené pro utěsnění otáčejících se hřídelů a dalších strojních součástí. Svoji funkcí těsně oddělují dvě prostředí stejného nebo různého charakteru s malým tlakovým spádem. Stupeň utěsnění je závislý na provozních podmínkách těsněné součásti a požadavcích na životnost guferu. Utěsnění probíhá pomocí těsnící hrany (chlopně) manžety, která zabraňuje unikání oleje. V případě potřeby lze použít guferu s tzv. prachovkou, která zabrání vniku nečistot zvenku, zejména tedy prachových částic. [5]



obr. 4.: Popis guferu [4]

#### 4.1.1.1 Konstrukční prvky

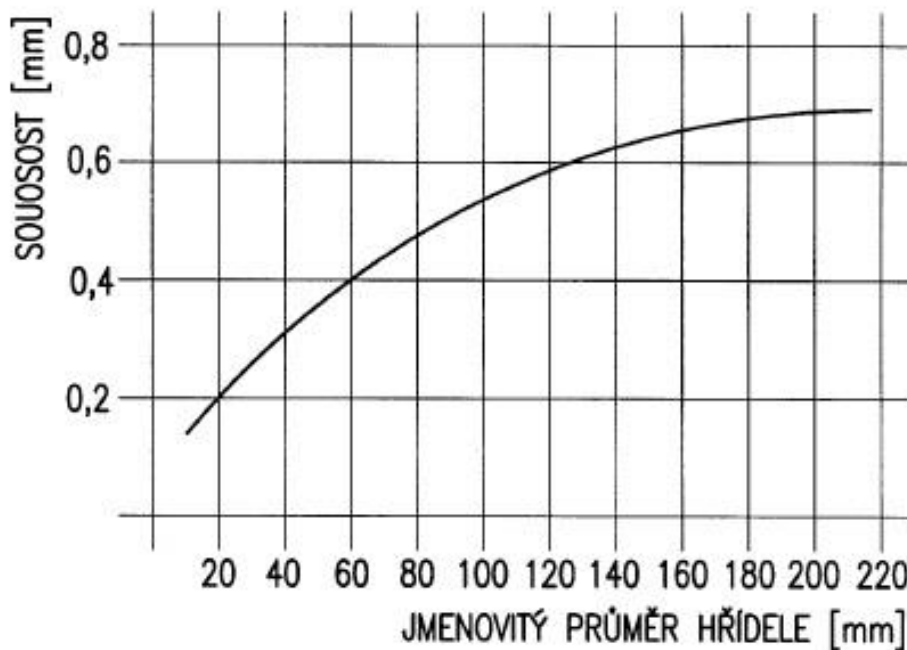
##### 4.1.1.1.1 Výztužný kroužek

Výztužný kovový kroužek má tvar prstence a je zavulkanizovaný ve vnější části těsnění. Hlavní funkce výztužného kroužku je dodání potřebné tuhosti těsnícímu

celku, usnadnění montáže do statoru a umožnění správného upevnění v úložné díře. Výztužný kroužek je vyráběn z hlubokotažného plechu, jenž odpovídá normě EN 10 130. Kroužek je charakterizován svými rozměry – průměrem děrování, středícím průměrem, šířkou a tloušťkou plechu. Pokud to vyžadují provozní podmínky, je možná volba jiného materiálu výztužného kroužku. [2; 4]

#### 4.1.1.1.2 Pružná membrána

Pružná membrána je přivulkanizována k výztužnému kovovému kroužku a přechází v těsnící břit. Membrána snižuje nepříznivý vliv úchyly souososti a obvodového házení hřídele na funkci těsnění. Obvodové házení vzniká geometrickou nepřesností, vůlemi v ložiscích a působením dynamických sil na hřídel od připojených strojů. Následující graf (obr. 5) znázorňuje požadavky na souosost hřídele a těsnícího kroužku v závislosti na jmenovitém průměru hřídele. [4]



obr. 5.: Graf požadavků na souosost hřídele v závislosti na jmenovitém průměru [4]

#### 4.1.1.1.3 Těsnící břit

Tvary těsnících břitů se drobně odlišují dle jednotlivých výrobců. Jsou však dány současnými vědeckými poznatky a praktickými zkušenostmi. Břit se vyrábí buďto přímo vulkanizováním společně s celým guferem, nebo může být mechanicky obroben. Uložení hřídele v břitu je uložení s přesahem břitu vůči hřídeli. Mezi břitem

a hřídelí vzniká radiální přitlačná síla, která je zvětšována pomocí tangenciální síly, kterou vyvozuje předepínací pružina. Síla vyvozená břítem je ovlivněna deformací, geometrií břítu a pružností materiálu. [2]

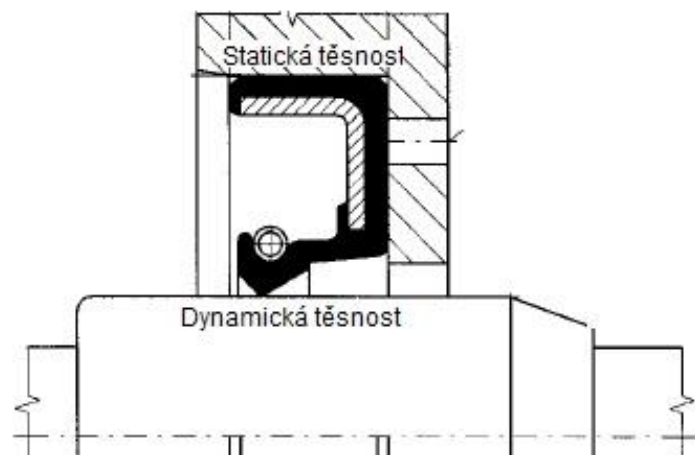
#### 4.1.1.1.4 Předepínací pružina

Tažná pružina je standardně vyráběna z ocelového pružinového drátu, který odpovídá normě DIN 17 223. Pokud to vyžadují provozní podmínky, je možno instalovat pružiny se zvýšenou odolností proti korozi – pozinkované či nerezové. Důležitý požadavek na pružinu je, aby si zachovala po celou dobu životnosti své konstantní charakteristiky včetně teplotní odolnosti. [4]

Vystavíme-li elastomery, ze kterých je vyroben zbytek gufera, teplotnímu působení, mechanickému zatížení či chemickým látkám, které narušují jejich strukturu, ztrácí své původní vlastnosti. Jev, při kterém dochází ke ztrátě původních vlastností, se nazývá stárnutí a má přímý vliv na zmenšování přitlačné síly vyvozované břítem na hřídel. Předepínací pružina má ztrátu radiální síly co nejvíce eliminovat a proto je důležité, aby pružina měla stále stejné vlastnosti. [2]

#### 4.1.1.1.5 Vnější pouzdro

Hlavní funkcí vnějšího pouzdra je zajištění statické těsnosti. To probíhá pomocí přesahu v úložném prostoru, ve kterém je gufero uloženo. [4]



obr. 6.: Těsnící funkce [4]

## 4.1.1.2 Funkční podmínky

### 4.1.1.2.1 Těsnost

Těsnicí schopnost je vyjádřena množstvím uniklé těsněné kapaliny za jednotku času. Těsnost ovlivňuje řada faktorů a provozních podmínek, které se mění během životnosti těsnění. [4]

Za ztrátu těsnicí funkce povětšinou mohou extrémní provozní podmínky, nedodržení postupu montáže a příliš vysoká hodnota drsnosti povrchu hřídele. Potřebné hodnoty drsnosti hřídele jsou dány normou ISO 4188:1996 a to v rozmezí  $R_a = 0,2 - 0,8 \mu\text{m}$ . [3]

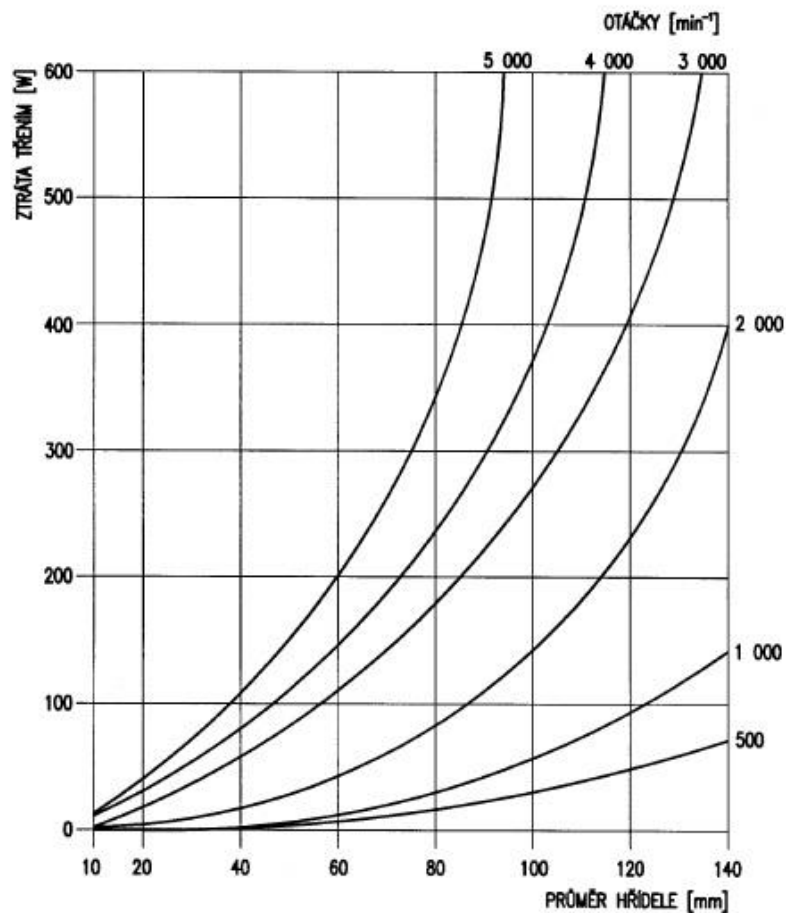
### 4.1.1.2.2 Tření a třecí ztráty

Velikost tření mezi hřídelí a břitem gufera je závislá na mazání, provozních podmínkách, konstrukci gufera a použitých materiálech. Teplo vzniklé třením musí být dostatečně odváděno, aby nedocházelo k přílišnému zahřívání těsnícího břitu. [4]

Součinitel tření se projevuje v adhezní a deformační složce. Mezi segmenty makromolekul pryže a třecím povrchem vznikají přitažlivé síly, které mají za následek adhezní tření. Deformační tření vzniká deformací povrchových segmentů pryže způsobené drsností povrchu hřídele. Pokud se vytvoří mezi těsníci plochami mazací film, je vliv těchto složek na třecí ztráty potlačen. [4]

Přesné vyjádření třecích ztrát je obtížné, jelikož závisí na řadě faktorů, které se během utěsňování mění. Třecí ztráty jsou úměrné třecímu momentu a frekvenci otáčení hřídele. Pro orientační určení třecích ztrát lze použít hodnoty dle grafu na následujícím obrázku (obr. 7). [4]





obr. 7.: Graf třecích ztrát [4]

### 4.1.1.2.3 Tlak těsněné kapaliny

Gufera jsou určena pro utěsnění kapaliny bez přetlaku nebo s malým přetlakem. Pokud bude gufero pracovat s přetlakem, je nutné snížit funkční parametry těsnění, nebo použít podpěrné kroužky, zabraňující zvýšení radiálního zatížení těsnícího břítu. [4]

### 4.1.1.2.4 Teplota

Výběr materiálu gufera by měl být prováděn dle předpokládané provozní teploty gufera. Hřídelové těsnící kroužky jsou běžně používány při teplotách od  $-60^{\circ}\text{C}$  do  $+190^{\circ}\text{C}$ . Pro výběr gufera hraje největší roli teplota v místě styku s rotorem a je nutné brát v úvahu i vliv teploty média, která může vzrůst vlivem provozních podmínek i o  $50^{\circ}\text{C}$ . [2; 3]



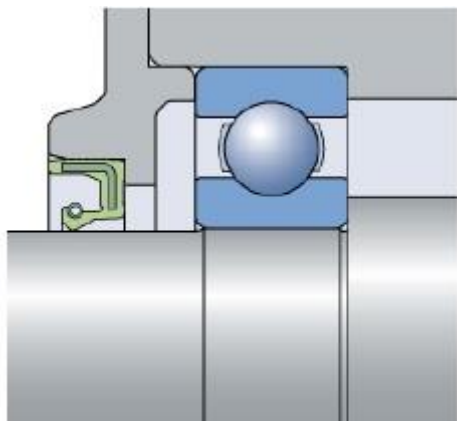
### 4.1.1.2.5 Obvodová rychlost

Jedním z aspektů ovlivňujících množství tepla vzniklého třením je obvodová rychlost. Teplo vzniklé třením je odváděno hřídelem a médiem. Při provozování těsněného zařízení takzvaně „nasucho“ je třeba brát v potaz maximální možnou teplotu okolí, jelikož teplota v místě styku gufera a těsněné součásti se může zvýšit až o 40°C. Maximální obvodová rychlost je uváděna okolo  $v_o = 30$  m/s. Tato hodnota se může drobně lišit vzhledem ke konstrukčnímu řešení jednotlivých typů gufer. [2]

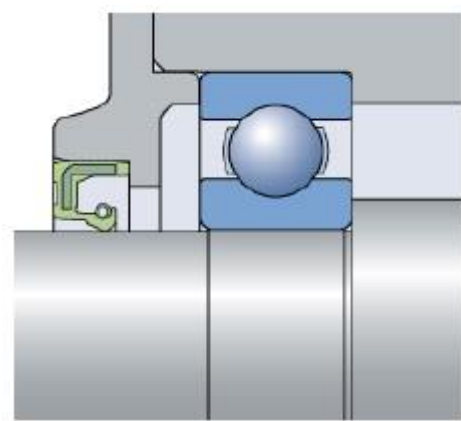
### 4.1.1.3 Montáž

Hřídelový těsnící kroužek se montuje s ohledem na funkci, kterou bude plnit. Lze jej namontovat dvěma způsoby. Je-li hlavním požadavkem zadržení maziva, montuje se tak, aby těsnící břit směřoval směrem dovnitř těsněného prostoru (obr. 9). Je-li hlavním požadavkem zabránění vniku nečistot, montuje se gufero obráceně, tedy břitem směrem od ložiska (obr. 8). [3; 4]

Nalisování hřídelového těsnícího kroužku musí být provedeno v souladu s informacemi o montáži jednotlivých výrobců. Zpravidla se kroužek lisuje lisem s pomalým chodem za konstantního tlaku, nebo kladivem za opatrných lehkých úderů při použití montážního přípravku. [3; 4]



obr. 8.: Břit směrem ven [3]



obr. 9.: Břit směrem dovnitř [3]

## 4.1.2 V-kroužky

V-kroužky jsou celopryžová axiální beztlaká těsnění rotačních dílů a ložisek. Dají se použít v širokém rozsahu aplikací a často se používají jako druhá přídavná těsnění. Jejich hlavní předností je montáž, která je snadno proveditelná díky tomu, že v-kroužky jsou konstruovány bez jakékoli tkaninové či kovové výztuhy. Jsou tedy snadno vyměnitelné, což je jejich ceněná vlastnost. [3]

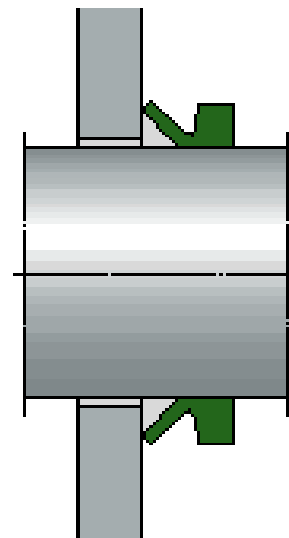


obr. 10.: Profil V - kroužku [3]

### 4.1.2.1 Konstrukční prvky

Těsnící v-kroužky nejsou nijak konstrukčně složité součásti. V-kroužek je vyroben z jednoho kusu pryže, který obsahuje plochu, která dosedá na hřídel a břit, jenž je tlakem okolního prostředí tlačěn na součást kolmou k ose hřídele a tím vzniká těsnící funkce. [2; 3]

Nespornou výhodou těsnících v-kroužků je, že mohou být díky jejich poddajnosti použity pro více průměrů hřídelí. Díky svému technickému provedení není potřeba zvláštních požadavků na povrch či toleranci hřídele a kroužek si zajišťuje těsnící funkci i při nedokonalé kolmosti těsněné plochy. [3]



obr. 11.: V - kroužek na hřídeli [3]

### 4.1.2.2 Těsnost, obvodová rychlost

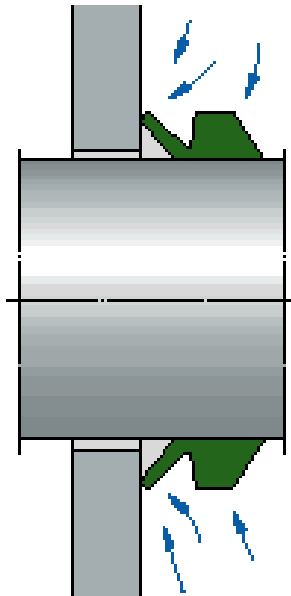
V-kroužek je axiální působící hřídelové a ložiskové těsnění. Hlavní princip tedy spočívá ve vytvoření axiální síly na břit. Tu vytvoří buďto vnější nebo vnitřní prostředí. Kroužek rotuje spolu s hřídelí a dotýká se statické plochy kolmé k ose hřídele (obr. 12). Poloha kroužku na hřídeli závisí na funkci, kterou má v-kroužek plnit. Jedná-li se o zatěsnění uložení ložisek mazaných plastickým mazivem a jejich ochranu před nečistotami, je třeba v-kroužek umístit vně víka nebo tělesa těsněné součásti. Takto použitý v-kroužek může sloužit i jako ventil plastického maziva



(obr. 13) – pokud je použito nadměrné množství plastického maziva, vlivem otáčení hřídele se mazivo dostane mezi stykovou plochou a těsnícím břitem ven. [2; 3; 4]

Pokud je třeba zabránit průniku nečistot a zároveň zadržet mazivo uvnitř převodovky, lze použít montáž dvou protilehlých v-kroužků (obr. 14). [3]

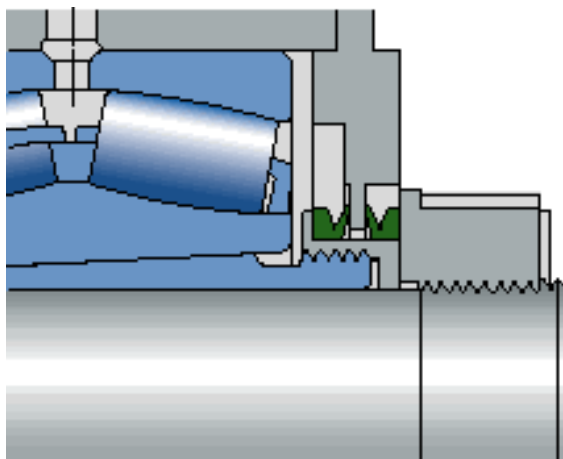
Slouží-li v-kroužky k zadržování oleje, musí být axiálně zajištěny na hřídeli na straně maziva a nesmí být ponořeny do média používaného v aplikaci (obr. 15). [3]



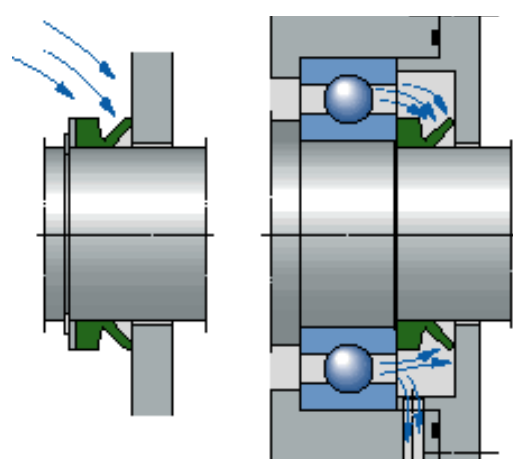
obr. 12.: Těsnící funkce [3]



obr. 13.: Těsnící funkce – ventil plastického maziva [3]



obr. 14.: Dvojice v-kroužků [3]

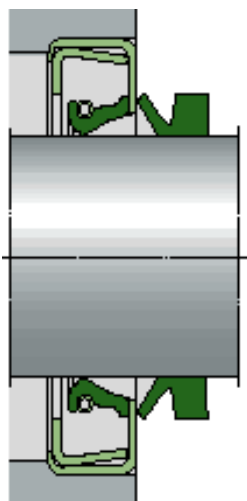


obr. 15.: V-kroužky pro zadržení oleje [3]

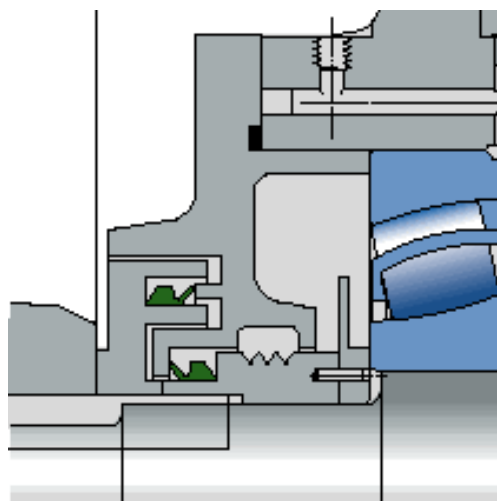
V-kroužky lze použít jako druhá těsnění (obr. 16,17). Tj. těsnění, které neplní hlavní těsnící funkci, ale má za úkol pouze pomáhat hlavnímu těsnění v těsnící



funkci. Lze použít například k ochraně těsnícího břitu a stykové plochy hlavního těsnění před nečistotami a korozí, nebo pro zvýšení funkce labyrintových těsnění. [3]



obr. 16.: Přídavné těsnění [3]



obr. 17.: Kombinace s labyrintovým těsněním [3]

tab. 1.: Obvodová rychlost a drsnost povrchu [3]

Obvodová rychlost		Drsnost povrchu	
m/s	ft/min	$R_a$ $\mu\text{m}$	$R_a$ $\mu\text{in}$
>10	>1 969	0,4-0,8	16-32
5-10	984-1 969	0,8-1,6	32-64
1-5	199-984	1,6-2,0	64-80
<1	<199	2,0-2,5	80-100
Drsnost povrchu nesmí být nižší než $R_a$ 0,05 $\mu\text{m}$ (2 $\mu\text{in}$ ).			

Důležitým vlivem na životnost v-kroužku má tření mezi těsnícím břitem a státorem. Z tabulky (tab. 1) je možné vyčíst, že platí nepřímá úměra mezi

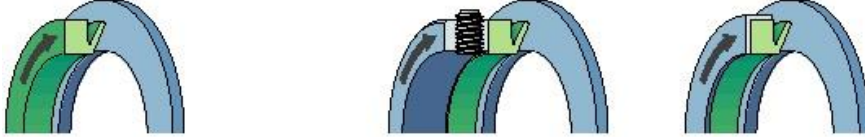
obvodovou rychlostí hřídele a požadovanou drsností statické plochy – tedy čím větší obvodová rychlost, tím menší drsnost povrchu musí stator mít. Stator by měl být očištěn od různých výstupků a ostrých vrcholů – aby nedošlo k porušení povrchu kroužku. Výrobci doporučují vyčištění povrchu brusným papírem a následné vyleštění. Drsnost povrchu by neměla být menší než 0,05  $\mu\text{m}$ , protože pod touto mezní hodnotou dochází k sacímu efektu a to způsobuje zvýšenou hlučnost systému. Je-li stator vyroben z měkké oceli vystavené látkám s korozivním účinkem, je nutné pozinkování nebo pasivace. [3]

Důležité je i dodržení požadavků na hřídele. Povrch hřídele nesmí obsahovat ostré hrany, vrypy a otřepy, které by mohly při montáži narušit povrch v-kroužku.

Pokud v-kroužek zadržuje tekutiny, nebo je vystaven působení jemných pevných částic nečistot, je třeba upravit povrch na hřídeli na drsnost  $R_a = 3,2 \mu\text{m}$ . V běžných aplikacích postačí drsnost  $R_a = 6,3 \mu\text{m}$ . [2; 3]

### 4.1.2.3 Provozní teplota a konstrukční materiály

Běžná teplota, při níž jsou v-kroužky schopny pracovat, se liší dle jednotlivých výrobců a dle použitého materiálu. Dva základní materiály pro výrobu v-kroužků jsou nitrilkaučuková a fluorokaučuková pryže. [3]



Provozní podmínky	Směrné hodnoty pro V kroužky z	
	nitrilkaučuku	fluorkaučukové pryže
<b>Teplota, °C (°F)</b>		
dynamické utěsnění	-40 až +100 (-40 až +210)	-20 až +150 (-4 až +300)
statické utěsnění	-40 až +120 (-40 až +250)	-40 až +230 (-40 až +445)
<b>Obvodová rychlost, m/s (ft/min)</b>		
normální (1)	až do 8 (1 575)	až do 6,5 (1 280)
axiálně zajištěný (2)	8 až 12 (1 575 až 2 360)	6,5 až 10 (1 280 až 1 970)
axiálně a radiálně zajištěný (3)	> 12 (2 360)	> 10 (1 970)
<b>Tlak působící na těsnění, MPa (psi)</b>		
statické utěsnění nebo velmi nízká		
provozní rychlost	až do 0,03 (4.35)	až do 0,03 (4.35)

obr. 18.: Přehled materiálů [3]

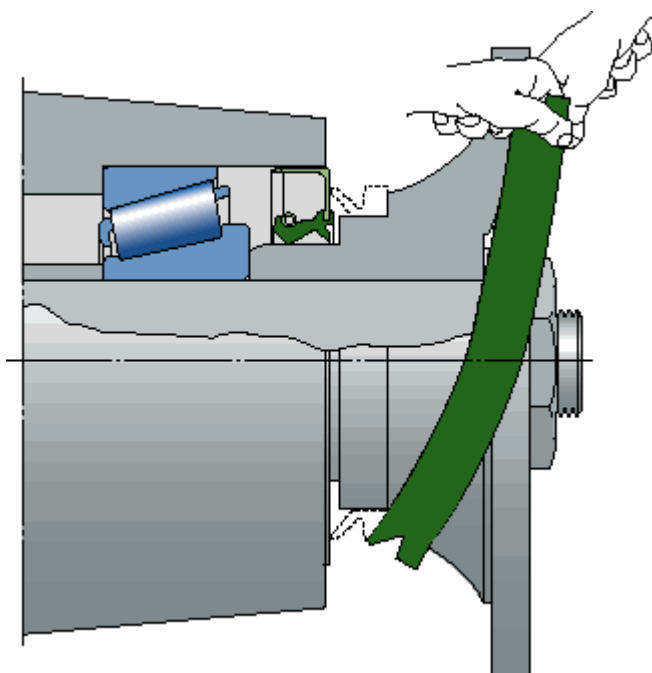
Z přehledu (obr. 18) je patrné, že kroužky vyrobené z nitrilkaučuku mají nižší teplotní únosnost, než kroužky z fluorokaučukové pryže, které jsou také chemicky odolnější – jsou schopny snést agresivnější média. Výrazný aspekt ve volbě kroužků je cena – fluorokaučukové jsou pochopitelně dražší. [3]

Je důležité, aby se při montáži a demontáži dílů v převodovce (především ložisek) dbalo na pracovní podmínky v okolí v-kroužků. Při teplotách vyšších než  $300^\circ\text{C}$  se z fluorelastomerů uvolňují nežádoucí zdraví nebezpečné látky. [3]



#### 4.1.2.4 Montáž

Nespornou výhodou v-kroužků je jednoduchost montáže. Mohou být přetaženy přes jiné díly, nebo například rozříznuty a znovu spojeny na místě montáže. Při montáži musí být hřídel a styková plocha očištěny od nečistot, oleje či plastických maziv. Těsnící břit musí být namazán tenkou vrstvou plastického maziva nebo silikonového oleje. Na konci montáže je důležité zkontrolovat, zda je v-kroužek roztažen rovnoměrně kolem obvodu hřídele. [3]

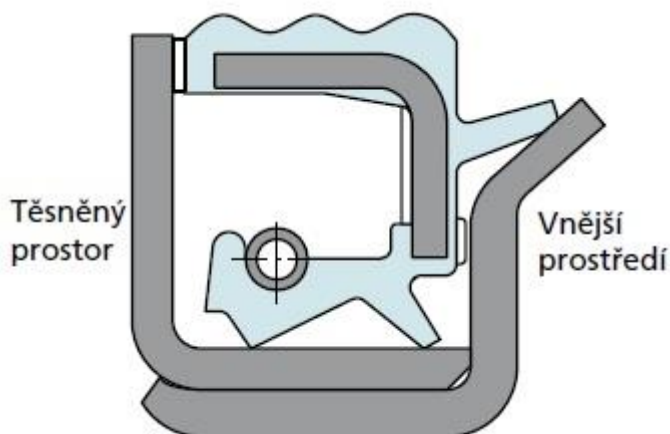


obr. 19.: Montáž v-kroužku [3]

#### 4.1.3 Kazetové těsnění

Kazetová těsnění jsou zcela uzavřené těsnící systémy s ucelenou těsnící soustavou, fungující jako zábrana proti úniku oleje, ochrana proti vnikání prachu a jiných nečistot z vnějšího prostředí do těsněného systému a také jako ochrana proti nadměrnému opotřebení. Výhoda kazetových těsnění spočívá v tom, že nevyžadují žádné další konstrukční prvky, jako např. ochranná pouzdra či prachovky. [2]

Princip těsnění je ukázán na těsnění od firmy Trelleborg (obr. 20).



obr. 20.: Kazetové těsnění Trelleborg [2]

### 4.1.3.1 Konstrukční prvky

Systém na obrázku (obr. 20) je kazetové těsnění Trelleborg Systém 5000. Těsnění je tvořeno zcela uzavřeným těsnicím celkem konstruovaným pro rotující hřídele. Těsnicí prvek je vnějším průměrem nalisován v nepohybujícím se pouzdru a vnitřní kovové pouzdro s funkční protiplochou je nalisováno na rotujícím hřídeli. [2]

Nezbytnou součástí kazetového těsnění představuje vnitřní kovové pouzdro, které je usazeno na hřídeli a soustavou radiálního a axiálního elastomerového břítu zabraňují vnikání nečistot do systému. Prostor mezi bříty je vyplněn mazivem.

Je nutné zajistit konstantní radiální přitlačnou sílu břítu. Vzhledem k tomu, že se prvotní přitlačná síla pružné části těsnění vlivem stárnutí elastomerů zmenšuje, je nutné použití předepínací pružiny, která přitlačnou sílu udrží konstantní. [2]

Kazetová těsnění nejsou konstruována pro tlakové spády. Jakýkoliv tlakový spád by vedl k netěsnostem. [2]

### 4.1.3.2 Těsnost

Na rozdíl od hřídelových těsnicích kroužků (gufer) a v-kroužků nejsou u kazetových těsnění kladeny vysoké požadavky na jakost povrchu hřídele a statoru. Běžně postačují jednoduché dokončovací operace na soustruhu ( $R_a = 3,2 \mu\text{m}$ ). Není třeba zvyšovat hodnotu tvrdosti povrchu hřídele – těsnicí prvky mají vlastní protiplochy, nedochází tedy k opotřebení hřídele. [2]

Nyní je potřeba se více zabývat radiálním házením a nesouosostí hřídele. Při vyšších rychlostech dochází ke ztrátě kontaktu s povrchem hřídele a tím pádem i ke ztrátě těsnicí funkce. Při nesouososti vzniká jednostranné zatížení břítu a to má negativní vliv na provozní životnost kazetového těsnění. [2]

### 4.1.3.3 Pracovní podmínky

#### 4.1.3.3.1 Teplota

Těsnicí bříty mohou být vyrobeny z několika druhů elastomerů, jako jsou akrylonitril-butadienový elastomer, fluoruhlíkový elastomer atd. Od použitého materiálu se odvíjí i maximální povolená provozní teplota. Fluorouhlíkový elastomer je schopen snést teplotu až  $250^\circ\text{C}$ . [2]





### 4.1.3.3.1 Obvodová rychlost

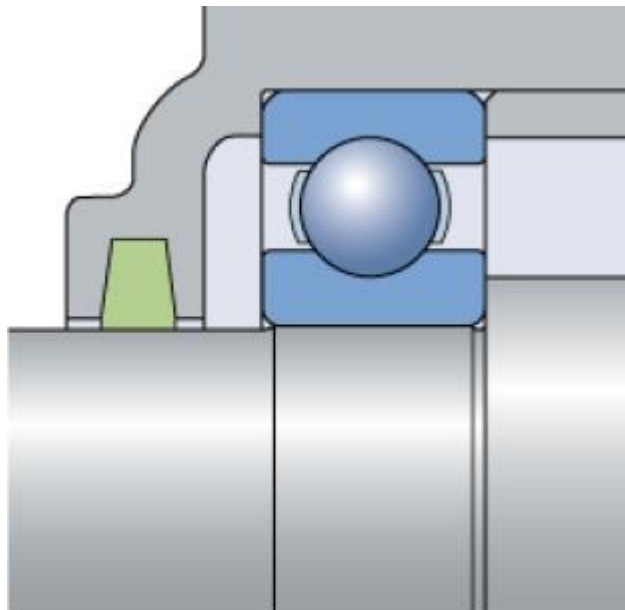
Maximální dovolená hodnota obvodové rychlosti rotoru se liší dle použitého typu kazetového těsnění každého výrobce. Maximální dovolená hodnota obvodové rychlosti u těsnění Trelleborg je  $v_0 = 15 \text{ m/s}$ . [2]

### 4.1.3.3.1 Montáž

Kazetová těsnění musí být montována pomocí speciálního montážního přípravku a musí být namontována hned vedle ložiska. Je důležité, aby vůle ložiska byla snížena na minimum, v nejlepším případě nulová. Při prvním spuštění systému se může objevit prosakování oleje nebo únik kouře. Tato skutečnost je zapříčiněna třením mezi kovovými pouzdry a tvarovými rozpěrnými výstupky. Na funkci těsnění však nemá žádný vliv. [2]

### 4.1.4 Plstěné kroužky

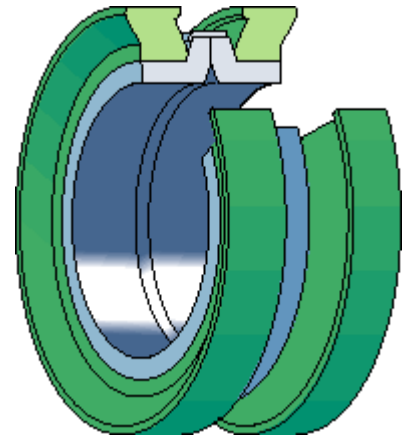
Plstěné kroužky (obr. 21) jsou variantou levných a jednoduchých těsnění. Jejich oblast použití je především v aplikacích s plastickým mazivem. Pro utěsnění převodovek je jejich aplikace velmi omezená. Jejich použití vyžaduje broušený povrch s drsností povrchu max.  $R_a = 3,2 \text{ } \mu\text{m}$ , maximální teplotu  $100^\circ\text{C}$  a obvodovou rychlost max.  $4 \text{ m/s}$ . Plstěné kroužky lze použít v kombinaci s bezkontaktním labyrintovým těsněním. [3]



obr. 21.: Plstěný kroužek [3]

### 4.1.5 Mechanická těsnění

Mechanická těsnění (obr. 22) je typ těsnění, který je vhodný pro použití v náročných provozních podmínkách avšak při malých obvodových rychlostech. Těsnění zabraňuje pronikání pevných a kapalných nečistot a nepropouští mazivo ven ze systému. Mechanická těsnění byla původně vyvinuta pro terénní a pásová vozidla. Představují však vhodné řešení pro utěsnění proti písku, zemině, blátu, vodě a podobným nečistotám. [6; 3]



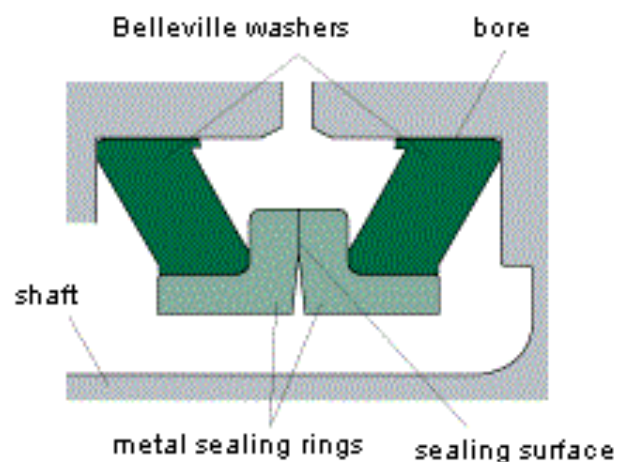
obr. 22.: Mechanické těsnění [3]

#### 4.1.5.1 Konstrukční prvky

Mechanická těsnění se skládají ze dvou stejných kovových těsnících kroužků a dvou nitrilkaučkových nebo fluorokaučkových talířových pružin, které jsou speciálně vinuté pro tento typ těsnění. [3]

Těsnící kroužky jsou vyrobeny ze slitiny odolné zejména proti opotřebení a korozi. Kluzné a těsnící plochy jsou jemně obrobena. [3]

Talířové pružiny vytvářejí stejnoměrnou přítlačnou sílu, která tlačí těsnící kroužky proti sobě. Jeden kroužek je uložen s pružinou ve statoru, druhý v rotující části. [3]



obr. 23.: Konstrukce kazetových těsnění [2]

Je důležité dodržet předepsané tolerance mezi sestavou těsnění a těsněnou součásti. Při nedodržení tolerancí se sníží těsnící účinek, nebo případně dojde ke snížení životnosti. [3]

#### 4.1.5.2 Provozní podmínky

Důležitým aspektem pro provoz mechanického těsnění je mazivo. Minimálně 30% těsnící plochy musí být pokryto plastickým mazivem, aby bylo zajištěno správné mazání a chlazení těsnících kroužků. [3]

Mechanická těsnění jsou konstruována na obvodovou rychlost  $v_0 = 1,8$  m/s při nepřetržitém provozu. Krátkodobě jsou schopna snést rychlost  $v_0 = 3,8$  m/s. Rozsah teplot prostředí je od  $-25$  do  $+190^\circ\text{C}$  a je závislý na vlastnostech použité pryže. [3]

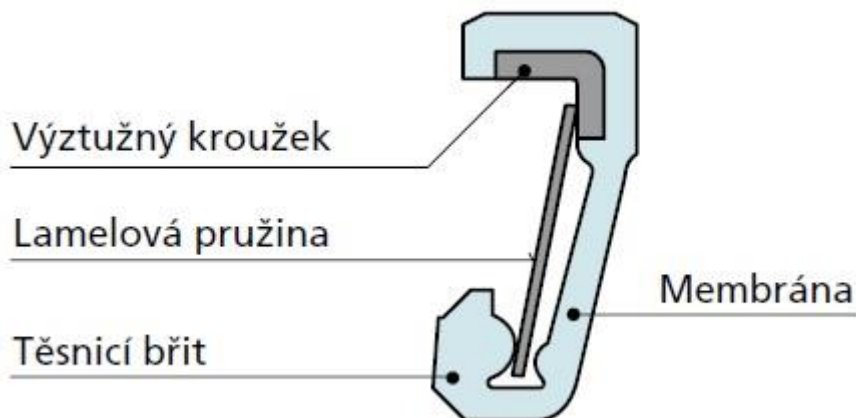
Těsnění jsou schopna snést různé vnitřní a vnější tlaky. Výrobce SKF udává maximální tlak  $p = 0,25$  MPa při nepřetržitém provozu a  $p = 0,35$  MPa při krátkodobém provozu. [3]

#### 4.1.6 Axiální hřídelové těsnění

Axiální hřídelová těsnění se nejčastěji používají pro ochranu valivých ložisek. Největší výhodou tohoto typu těsnění je určitě velikost a tím pádem jeho nízké nároky na zástavbový prostor. Používají se tedy v aplikacích s nedostatkem místa. Těsnění zamezuje vnikání nečistot a vody do systému a brání průchodu kapalných médií nebo mazacích tuků ven ze systému. [2]

##### 4.1.6.1 Konstrukční prvky

Těsnění se skládá z elastomerové pružné membrány s kovovým výztužným kroužkem a z pružiny. Axiální těsnící břit zakončuje membránu. Těsnící břit má speciální tvar, kterým je minimalizována těsnící plocha a tím je značně sníženo tření a tím pádem i vyvíjené teplo a opotřebení. [2]



obr. 24.: Axiální hřídelové těsnění [2]



#### 4.1.6.2 Těsnost

Membrána vyvíjí společně s pružinou přítlačnou sílu na zadní stranu těsnícího břítu a tím je břit přítlačován na protipovrch, který je kolmý k ose hřídele. Tento způsob konstrukce zajišťuje rovnoměrný přítlak a nepřenáší vibrace. Během provozu vyvozuje pružina konstantní přítlačnou axiální sílu. Oproti radiálním hřídelovým těsněním je síla výrazně nižší – asi třetinová. Vlivem teplotního roztažení nedochází ke kolísání přítlačné síly jako například u radiálních těsnění. Jediná změna, ke které dochází během provozu, je změna třecího odporu. I tato změna je však nepatrná. Aby byla zaručena statická těsnost, musí být těsnění pevně usazeno ve víku a taktéž vnitřní průměr musí být pevně usazen na hřídeli. [2]

Přímý vliv na těsnost má kvalita těsněného protipovrchu. Ten musí být dostatečně hladký a bez spirálových stop po obrábění. Dále musí být dodrženy hodnoty axiálního házení. Při maximálních dovolených otáčkách nesmí axiální házení překročit 0,03 mm při těsnění oleje a 0,05 mm při těsnění tuků. Radiální házení nemá na funkčnost těsnění velký vliv. [2]

#### 4.1.6.3 Provozní podmínky

Povolená pracovní teplota se odvíjí od použitého elastomeru membrány. Výrobce Trelleborg udává použitelnost při teplotách od -30 do +200°C. Maximální přípustná obvodová rychlost je u tohoto typu, vzhledem k tomu, že se jedná o kontaktní těsnění, celkem vysoká a to  $v_o = 30$  m/s. [2]

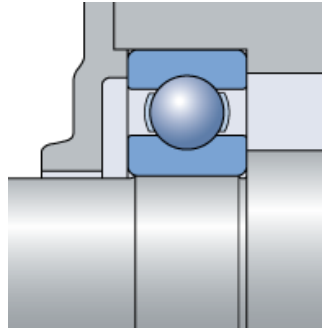
### 4.2 Bezkontaktní těsnění

Bezkontaktní těsnění jsou taková těsnění, při jejichž použití nedochází ke kontaktu statoru a rotoru. Jejich nespornou výhodou je nulová produkce tepla a tření. Naopak jejich nevýhodou je úzká štěrbina mezi rotorem a statorem, která umožňuje únik malého množství maziva a vstup drobných nečistot zvenčí. [3]



### 4.2.1 Štěrbínová těsnění

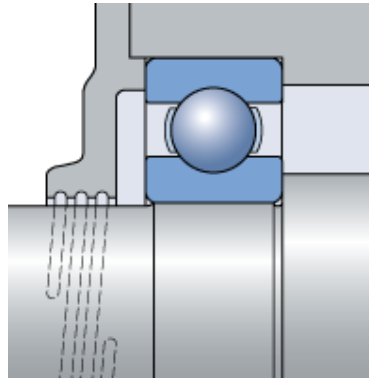
Štěrbínová těsnění (obr. 25) vytváří úzkou spáru mezi hřídelí a statorem. Tento typ těsnění je vhodný pro aplikace v suchém a bezprašném prostředí. [3]



obr. 25.: Štěrbínové těsnění [3]

Účinnost štěrbinových těsnění lze zvýšit vyfrézováním soustředných drážek na hřídeli a v tělese štěrbinového těsnění. [3]

Při aplikacích, kde je systém mazán olejem, je dobré vyhotovit spirálovou drážku (obr. 26). Drážka vrací olej zpět do převodovky. Je ovšem nutné, aby se hřídel točil pouze jedním směrem. [3]



obr. 26.: Frézovaná drážka [3]

### 4.2.2 Labyrintová těsnění

Podstata labyrintových těsnění je víceméně stejná jako u štěrbinových těsnění, jsou však účinnější, ale o to nákladnější na výrobu. Labyrintová těsnění se skládají ze dvou dílů a to ze stacionárního a z rotoru. Stacionární díl je připevněn na skříni převodovky a rotor je nasazen na hřídel a rotuje společně s hřídelí. [7]



### 4.2.2.1 Těsnost

Labyrintové těsnění je složitá cesta s náhlými změnami směru. Složité cesty mají zabránit úniku maziva do okolí a vniknutí nečistot do systému. V prostoru cest se vytváří turbulentní proudění a to pomáhá nečistoty vylučovat. [8;9]

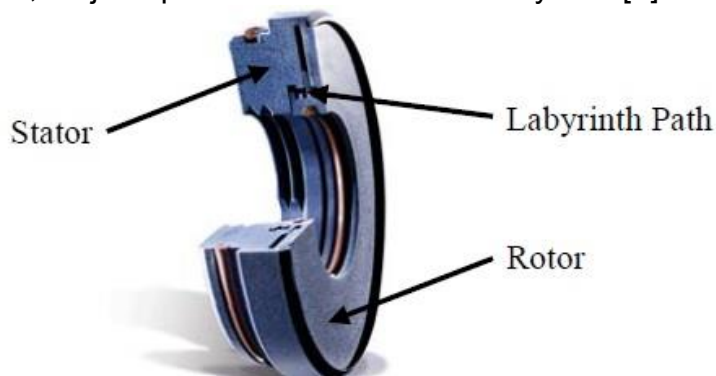
Mezi rotorem a statorem je malá mezera (v některých případech pouze 0,08 mm). Olejový film má tloušťku  $t_{\max} = 1 \mu\text{m}$ . Tloušťka filmu je tedy oproti mezeře velmi malá. Je nutné však uvážit délku a složitost cesty v labyrintovém těsnění, kterou olej a nečistoty musí urazit. [9]

### 4.2.2.2 Materiály

Volba materiálu labyrintového těsnění záleží na prostředí, ve kterém bude labyrint provozován a na požadavcích odběratelů. Škála konstrukčních materiálů je tedy velice široká. Nejčastějšími materiály jsou slitiny bronzu, hliníku, dále oceli a plast. [9]

### 4.2.2.3 Konstrukční prvky

V současné době dochází k různým novým konstrukčním kombinacím v oblasti labyrintových těsnění. Jedná se o hybridní labyrintová těsnění, která kombinují nová těsnící řešení s klasickými labyrintovými těsněními. Nové technologie využívají zvláštní spojovací součást – hydrodynamické čerpací prvky, pěnu s mikrobuněčnou strukturou či tekuté O-kroužky. Důležitým aspektem labyrintových těsnění jsou spojovací součásti, které drží labyrint pohromadě a zachovávají geometrické tolerance. Tím zabraňují kontaktu statoru s rotorem. Zmíněná pěna s mikrobuněčnou strukturou dokáže zabránit vniku nečistot ze vzduchu nebo vody. Pěna má omezenou kapacitu – může dojít k naplnění pěny nečistotami. Tím je snížena účinnost těsnění, na jeho provoz to však nemá žádný vliv. [8]



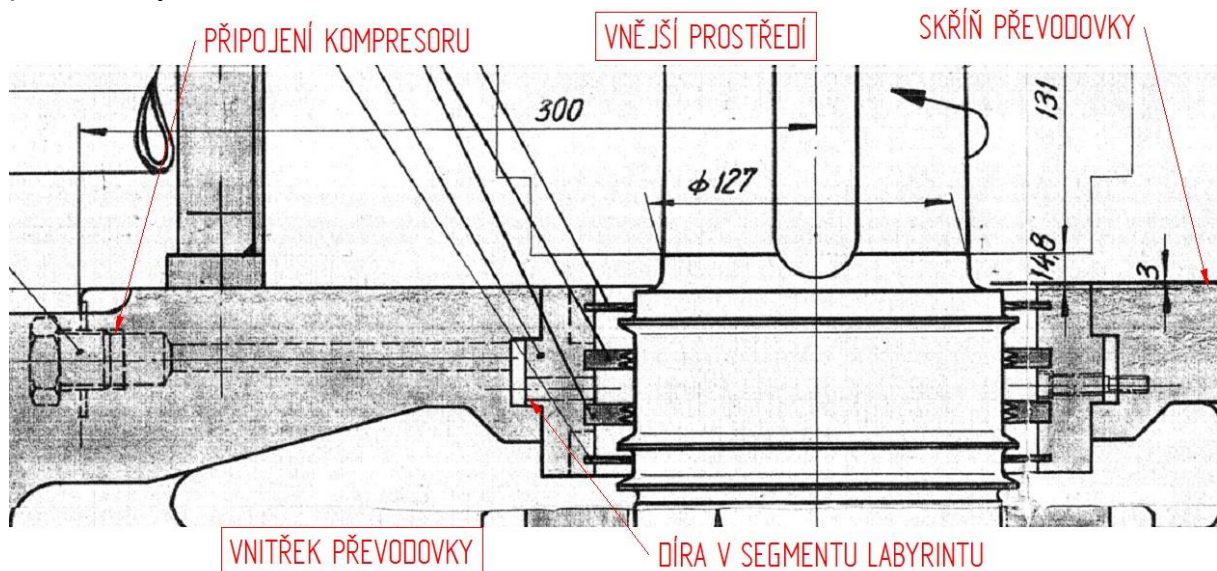
obr. 27.: Labyrintové těsnění [8]



#### 4.2.2.4 Zafukované labyrinty

Poměrně specifickou oblast tvoří takzvané zafukované labyrinty. Otvorem v segmentu labyrintu je přiváděn pod tlakem vzduch mezi břity labyrintu. Vzduch směřuje na rotující hřídel, přeruší tok oleje po hřídeli a tím zabraňuje úniku oleje. Část proudu vzduchu směřuje do převodovky společně s olejem a část ven z převodovky.

Při použití tohoto typu labyrintu je třeba počítat se vzrůstem tlaku vzduchu uvnitř převodovky, proto je nutné zvolit adekvátní odvodušnění převodovky. Bude-li použit běžný odvodušňovací šroub, přetlak v převodovce způsobí únik olejové mlhy do okolí převodovky.



obr. 28.: Zafukovaný labyrint

Na obrázku (obr. 28) je vidět konstrukční provedení zafukovaného labyrintu. Jedná se o starší výkres, ze kterého je patrné, že břity byly vyráběny zvlášť. Tento způsob výroby ale není příliš ekonomický, proto se dnes vyrábí segmenty labyrintů z jednoho kusu materiálu. Na obrázku (obr. 28) je znázorněn přívod vzduchu do labyrintu, který je na výkrese zaslepen šroubem. Vzduch proudí vyvrtanou dírou až k samotnému labyrintu, který je usazen ve skříni převodovky. V radiálním směru je do labyrintu vyvrtána díra, která ústí přímo mezi dvojicí břitů. Aby olej unikl ven z převodovky, musel by překonat dvojici břitových hlav a proud vzduchu.



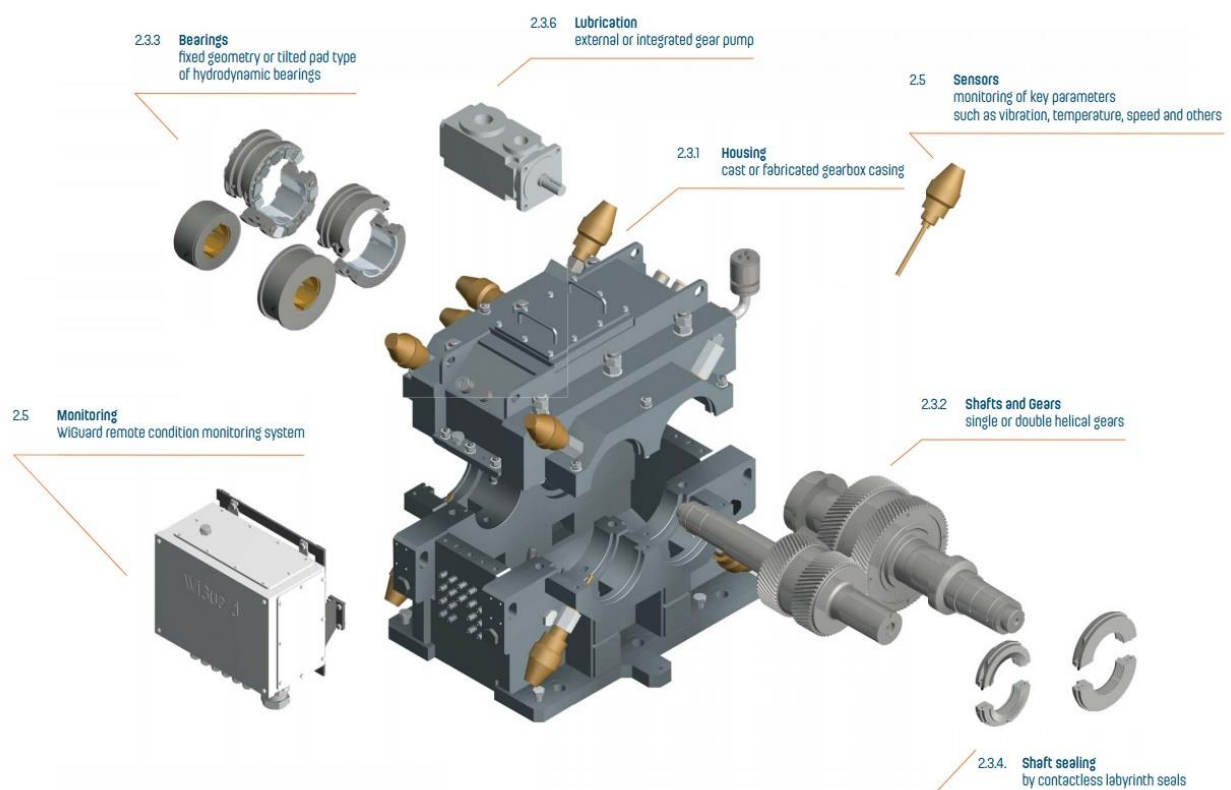
Zafukované labyrinty se jeví jako účinný způsob ochrany před únikem oleje, vyžadují však další výdaje spojené s přívodem vzduchu (konstrukční prvky, kompresor, odsávání, apod.).





## 5. Praktická část – návrh těsnění

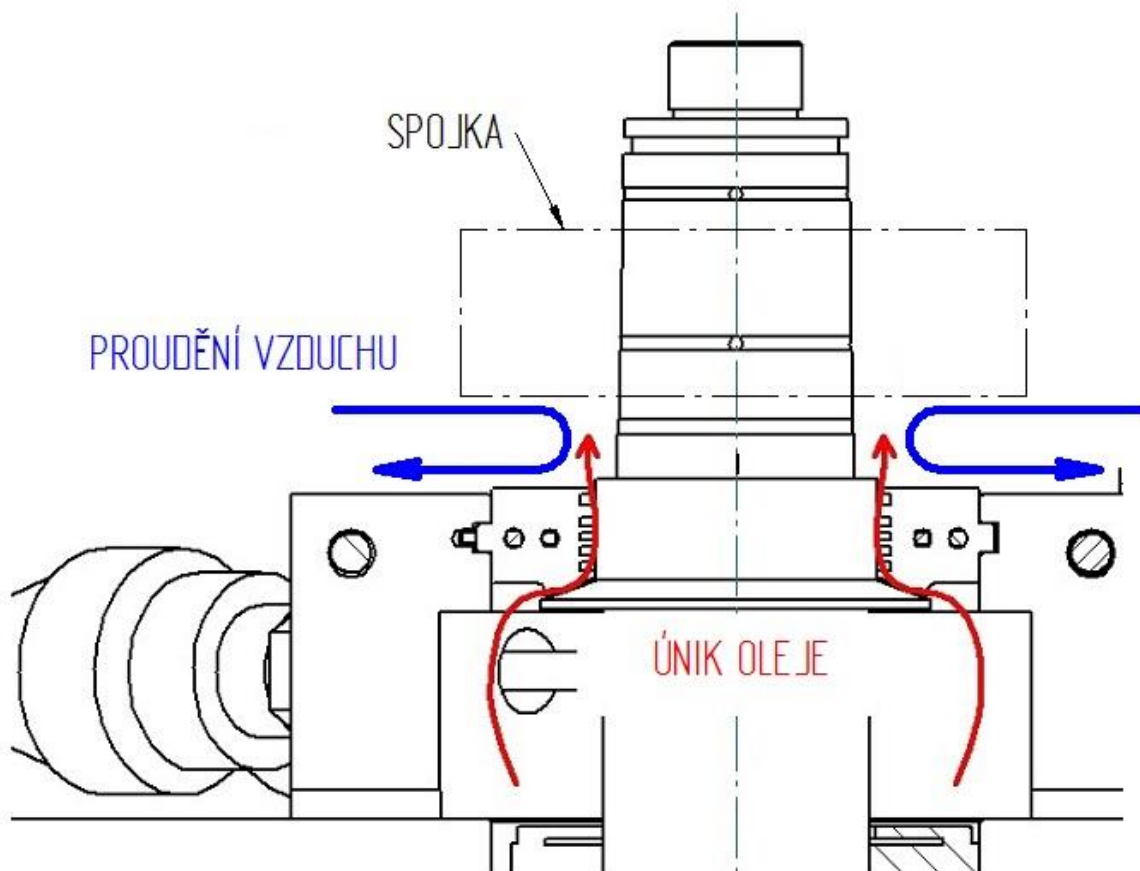
Pro firmu Wikov Gear bylo navrženo těsnění pro rychloběžnou převodovku typu RSB 250 (obr. 29) o výkonu  $P = 1250 \text{ kW}$ , vstupních otáčkách  $n_1 = 2980 \text{ 1/min}$  a výstupních otáčkách  $n_2 = 2980 \text{ 1/min}$ . Převodovka je provozována v Ománu v petrochemickém průmyslu a z toho plynou specifické požadavky na utěsnění vstupní a výstupní hřídele. Poháněna je asynchronním elektromotorem a slouží k pohánění odstředivého čerpadla. Převodovka pracuje ve výbušném prostředí a je umístěna ve vnějším prostředí s okolními teplotami od 5 do 50°C.



obr. 29.: Převodovka RSB 250 [1]



## 5.1 Vysvětlení problému



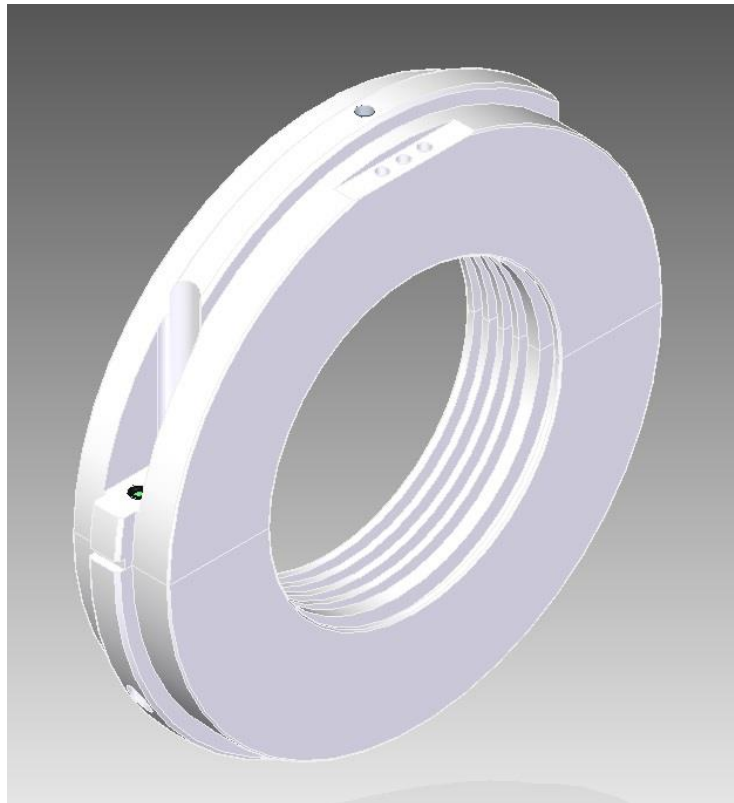
obr. 30.: Vysvětlení problému

Problém, ke kterému dochází, je nejlépe vidět na schématu (obr. 30). Na hřídel je nasazena spojka, která při vysokých otáčkách zvirí vzduch v okolí labyrintového těsnění a dojde k vytvoření podtlaku v převodovce. Podtlak způsobuje únik oleje mezerou mezi ostříkovacím kroužkem a labyrintem.



## 5.2 Současný labyrint

Na obrázku (obr. 31) je vidět současná podoba labyrintu ve 3D modelu. Model je vytvořen v programu Solid Edge. Výkres stávajícího labyrintu je zařazen v přílohách. Příkládané výkresy jsou vytvořeny v souladu se zvyklostmi konstrukčního oddělení firmy Wikov Gear.

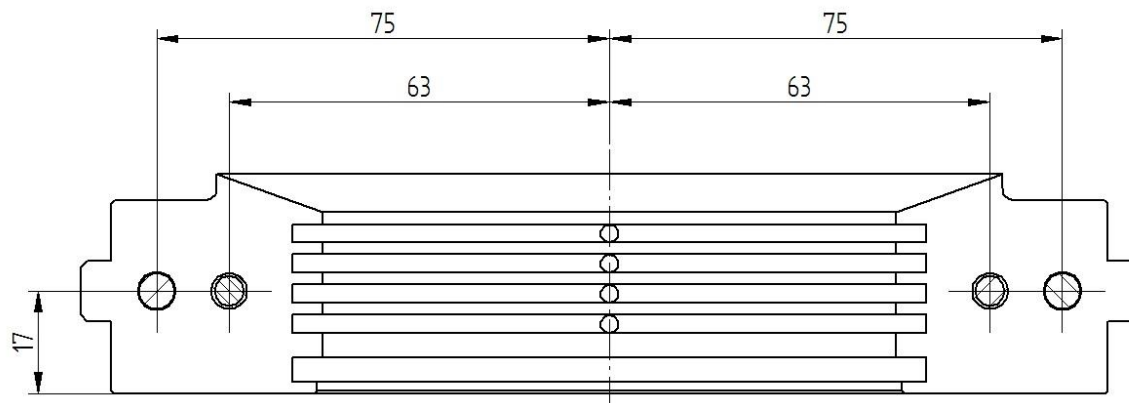


obr. 31.: Labyrint

### 5.2.1 Konstrukční prvky

#### 5.2.1.1 Segment

Hlavní částí labyrintového těsnění je segment ze slitiny hliníku  $AlCu_4PbMgMn$ . Dva segmenty jsou spojeny šroubem s válcovou hlavou M6x25 ČSN 02 1143.50 a jejich polohu ustavují kuželové kolíky 6x30 ČSN 02 2155.11 – zajišťují skutečnost, že po rozmontování a následném smontování bude labyrint ve stejné poloze a nedojde ke kontaktu břitů s rotorem (obr. 32).



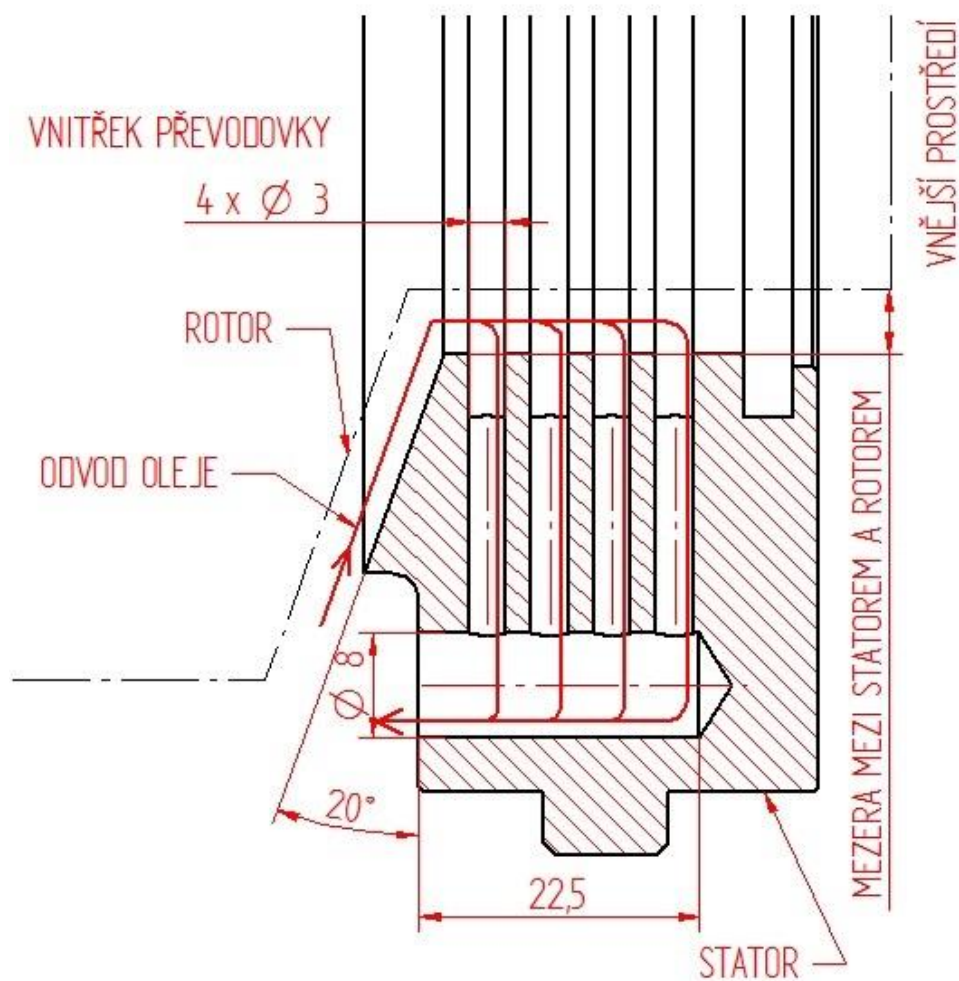
obr. 32.: Poloha spojovacích součástí

Důvod použití slitiny hliníku je jednoduchý. Pokud by došlo ke kontaktu rotoru s labyrintem (například při montáži), hliník je výrazně měkčí než ocel, ze které je vyroben rotor. Dojde tedy k poškození labyrintu a ne k poškození rotoru, jehož oprava by byla mnohonásobně dražší, než oprava segmentu labyrintu.

### 5.2.1.2 Břity

Hlavní těsnící funkci v labyrintovém těsnění plní břity, pomocí nichž je olej stírán z rotoru. Břity sice nejsou s rotorem v kontaktu, ale mezi průměrem břitů a průměrem rotoru je vůle přibližně 0,25 až 0,3 mm. Malá mezera mezi břity a rotorem způsobuje narušení proudu vzduchu, který vlivem podtlaku proudí z převodovky a to způsobí narušení olejového filmu tekoucího po hřídeli z převodovky do vnějšího prostředí. Olej je veden mezerami mezi jednotlivými břity a je odváděn do vývrtů v břitových mezerách ve spodním segmentu labyrintu. Vývrty mají průměr  $d = 3$  mm a ústí do odpadní díry o průměru  $d = 8$  mm, pomocí níž se vrací olej zpět do převodovky.

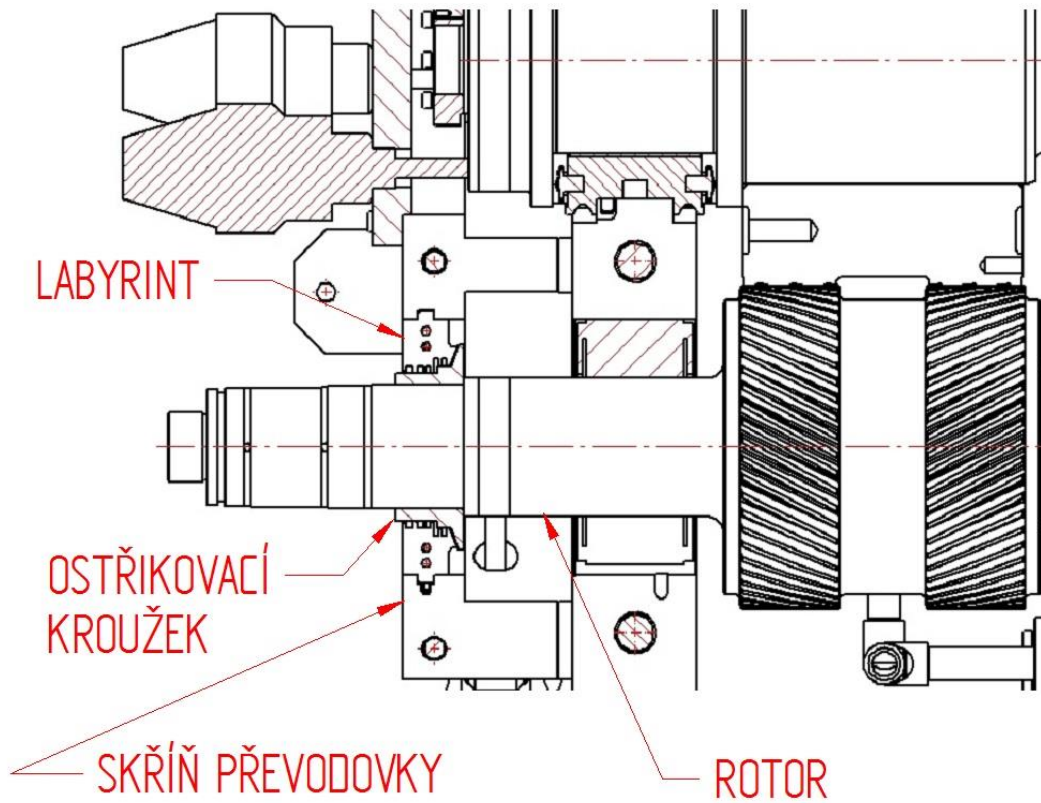
Na následujícím obrázku (obr. 33) je znázorněn princip odvodu oleje, který se dostane z převodovky do labyrintového těsnění. Olej musí urazit celkem složitou cestu mezi ostříkovacím kroužkem a segmentem labyrintu. Je tedy žádoucí, aby mezera mezi ostříkovacím kroužkem, který se točí společně s rotorem, a segmentem labyrintu, byla co nejmenší a to jak na čelní ploše soustružené pod úhlem  $20^\circ$ , tak i mezi břity a rotorem. Ve firmě Wikov Gear se nejčastěji používá tolerance H7 na průměru břitů. Tato tolerance zajišťuje zachování dostatečné mezery pro otáčení rotoru, ale minimalizuje průchod oleje ven z převodovky.



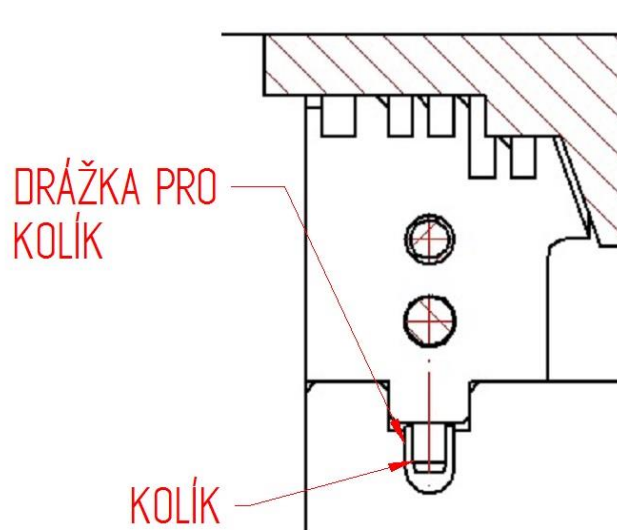
obr. 33.: Princip odvodu oleje

#### 5.2.1.4 Uložení ve skříni

Labyrint je ve skříni převodovky uložen s vůlí a jeho pootočení zabraňuje válcový kolík 4x12 ČSN 02 2150.11. Labyrint je centrován na vnější průměr  $d = 165j6$ . Pro správné uložení kolíku musí být v boku labyrintu vyvrtána díra o průměru  $d = 4H6$  mm a hloubce 6 mm. Drážka pro kolík se frézuje do spodku skříně a její hloubka je minimálně 4 mm a šířka 6 mm. Pro lepší představu přikládám obrázek, který zobrazuje polohu labyrintu ve skříni převodovky (obr. 34). Ustavení polohy labyrintu pomocí kolíku je vidět na obrázku (obr. 35).



obr. 34.: Náhled do převodovky

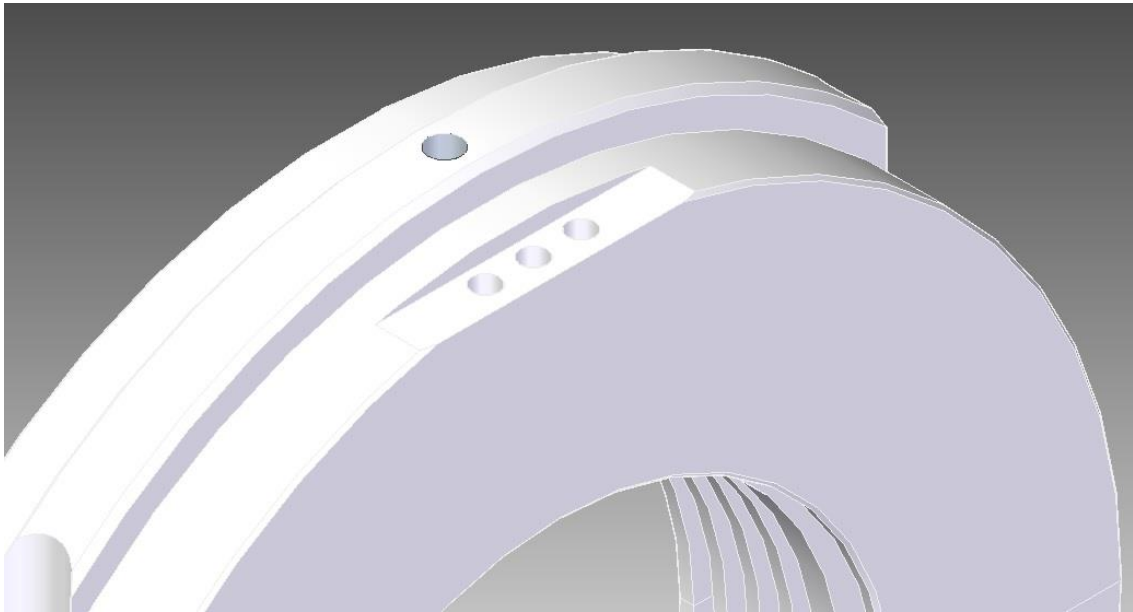


obr. 35.: Ustavení polohy labyrintu

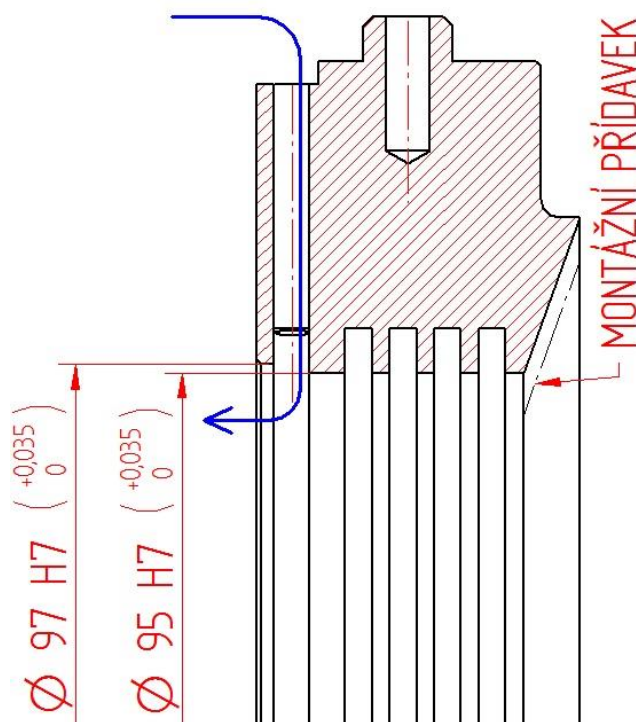


### 5.2.1.5 Přisávání vzduchu

Osvědčený způsob minimalizace úniku oleje z převodovky je vyvrtání děr do první břitové drážky v labyrintu. Zvířený vzduch u takto upraveného labyrintu vyvolává sací efekt. Nesaje však olej z vnitřního prostoru převodovky, ale saje právě pomocí vyvrtaných děr z vnějšího prostoru. Systém vyvrtaných děr lze lépe pochopit z přiloženého výkresu labyrintu (příloha 1).



obr. 36.: Díry pro přisávání



obr. 37.: Princip přisávání

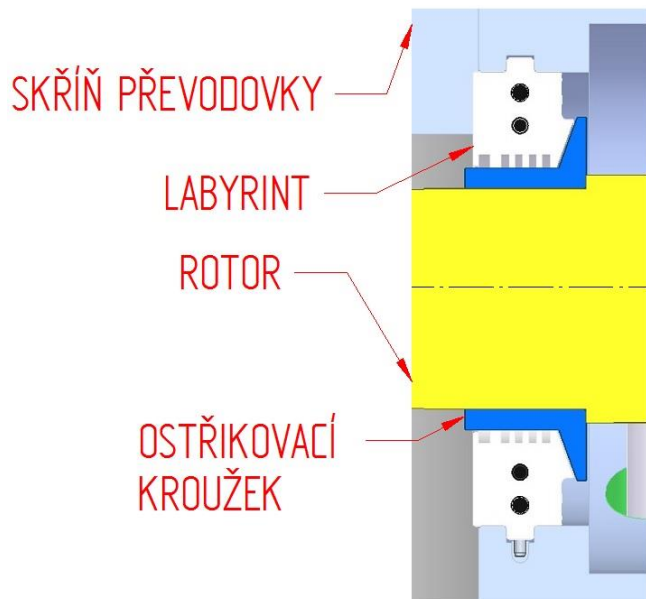
Na obrázku (obr. 37) je šipkou zobrazen směr nasávaného vzduchu. Aby bylo množství přisávaného vzduchu z vnějšího prostředí co možná největší, je nezbytné, aby průměr děr byl co největší. Z obrázku je také patrné, že průměr prvního břitu je větší než u ostatních břitů a to z toho důvodu, aby byl zajištěn bezproblémový odvod přisávaného vzduchu.

### 5.3 Ostřikovací kroužek

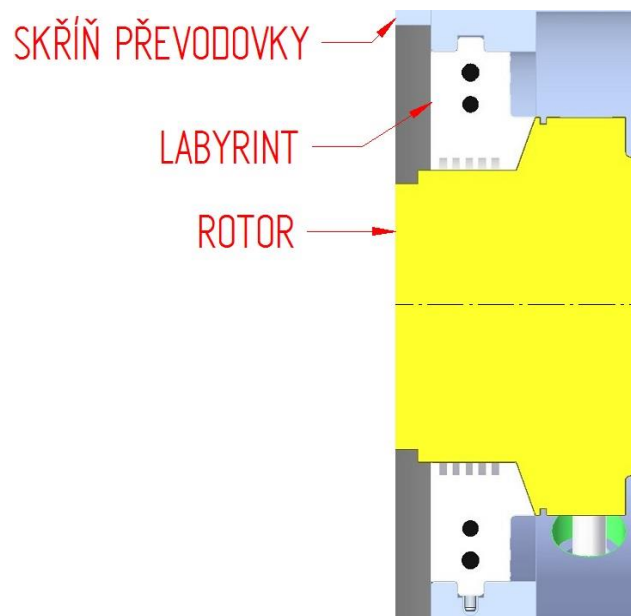
Ostřikovací kroužek je možno vyrobit ve dvou variantách. Tou první je vysoustružení kroužku ze samostatného kusu a následné nalisování na hřídeli (obr. 38). U této převodovky je tomu tak u rychloběžného hřídele. Druhou variantou je vysoustružení tvaru ostřikovacího kroužku přímo na hřídel (obr. 39), jako je tomu u pomaluběžného hřídele u převodovky RSB 250. Hlavní funkcí ostřikovacího kroužku je zabránit toku oleje z ložiska směrem k labyrintu.

Ostřikovací kroužek musí být velice přesně vyroben (IT7), aby nedošlo ke kontaktu se segmenty labyrintu. Jeho hlavní funkce spočívá v zábraně toku oleje z ložiska do labyrintu.

Geometrické tolerance, s jakými je ostřikovací kroužek vyroben, jsou k vidění na přiloženém výkrese (příloha 2).



obr. 38.: Ostřikovací kroužek nalisovaný



obr. 39.: Ostřikovací kroužek soustružený na hřídeli





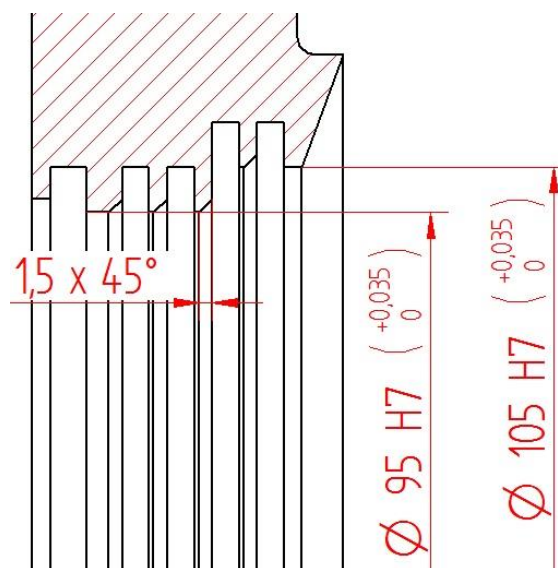
## 5.4 Návrh nového labyrintu a ostříkovacího kroužku

Při návrhu nového typu labyrintu je třeba dbát především na „ztížení“ cesty průtoku oleje. Snahou tedy bylo vytvořit jak na samotných segmentech, tak na ostříkovacím kroužku takové konstrukční úpravy, aby cesta mezi labyrintem a hřídelí byla co nejsložitější a zároveň byly součásti bez problémů vyrobitelné stroji dostupnými ve firmě Wikov Gear.

### 5.4.1 Osazení a zkosení

Při navrhování konstrukčních úprav labyrintu bylo inspirací labyrintové těsnění od firmy Garlock. Uvnitř labyrintu bylo vytvořeno osazení z průměru  $d = 95$  mm na  $d = 105$  mm na posledních dvou břitech. Osazení by mělo zvýšit obtížnost průchodu oleje a tím zmenšit pravděpodobnost úniku oleje z převodovky.

Zároveň bylo na břitech vytvořeno zkosení  $1,5 \times 45^\circ$ , díky kterémuž je předpoklad lepší schopnosti stírání oleje z rotujícího hřídele. Inspirací pro zkosené břity byly zafukované labyrinty (obr. 28).



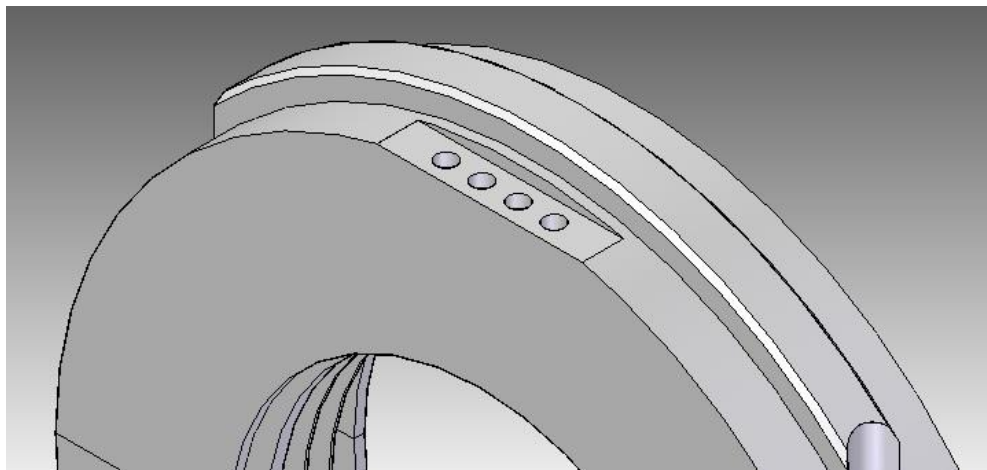
obr. 40.: Břity

Na obrázku (obr. 40) jsou patrné výše zmíněné konstrukční úpravy. Změny byly konzultovány s technologickým oddělením firmy Wikov Gear a segmenty labyrintu by měly být s danými úpravami bez problémů vyrobitelné.



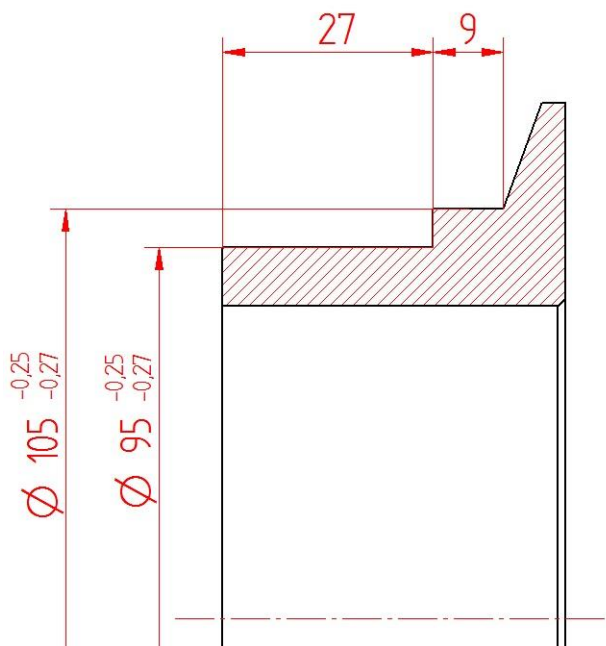
## 5.4.2 Úprava přisávání

Jako další konstrukční úprava bylo zvoleno přidání díry pro přisávání vzduchu z vnějšího prostředí (obr. 41). Je předpoklad, že sací efekt vyvolaný zviřeným vzduchem, bude nasávat více vzduchu přes vyvrtané díry a kvůli provedené úpravě bude docházet k menšímu sacímu efektu z vnitřního prostoru převodovky. Dále pak se předpokládá, že u větších labyrintů by bylo možno vyvrtat děr ještě více. Průměr děr by zůstal zachován a to  $d = 4 \text{ mm}$ .



obr. 41.: Úprava přisávání

## 5.4.3 Úprava ostříkovacího kroužku



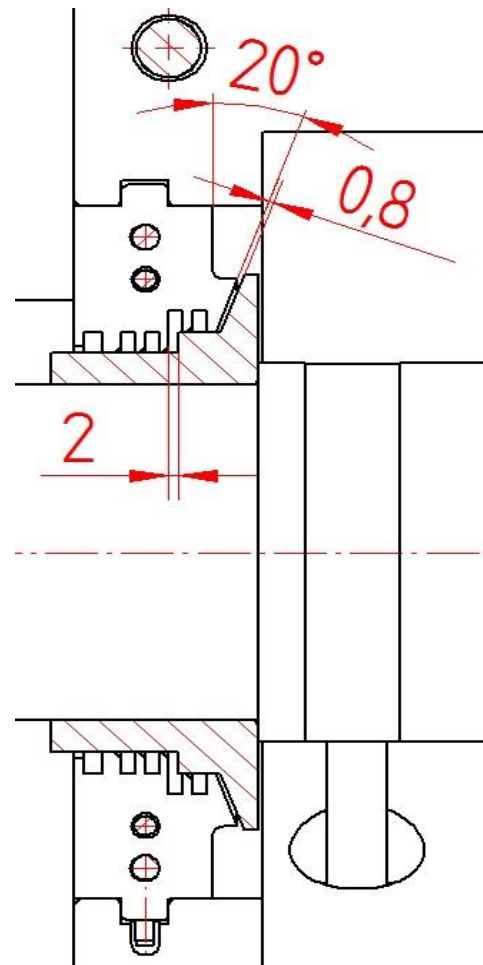
obr. 42.: Úprava ostříkovacího kroužku

Na ostříkovacím kroužku byla provedena pouze jedna úprava (obr. 42) a tou je vytvoření osazení z  $d = 95 \text{ mm}$  na  $d = 105 \text{ mm}$  stejně, jako tomu je u segmentů labyrintu (obr. 40).



## 5.4.4 Sestavení

Na obrázku (obr. 43) je vidět labyrint uložený ve skříně a ostříkovací kroužek nalisovaný na hřídeli. Dle konstruktérů firmy Wikov Gear musí být mezera mezi čely ostříkovacího kroužku a labyrintu pod úhlem  $20^\circ$  minimálně  $0,8$  mm. Tato vzdálenost je dostačující pro eliminaci výrobních nepřesností a tepelné roztažnosti hřídele a skříně převodovky. Čelní plocha labyrintu rovnoběžná s čelní plochou ostříkovacího kroužku pod úhlem  $20^\circ$  se vyrábí s  $2$  mm montážním přídavkem (obr. 37) – labyrint je upravován při montáži, aby byla zajištěna právě mezera  $0,8$  mm.



obr. 43.: Sestavení

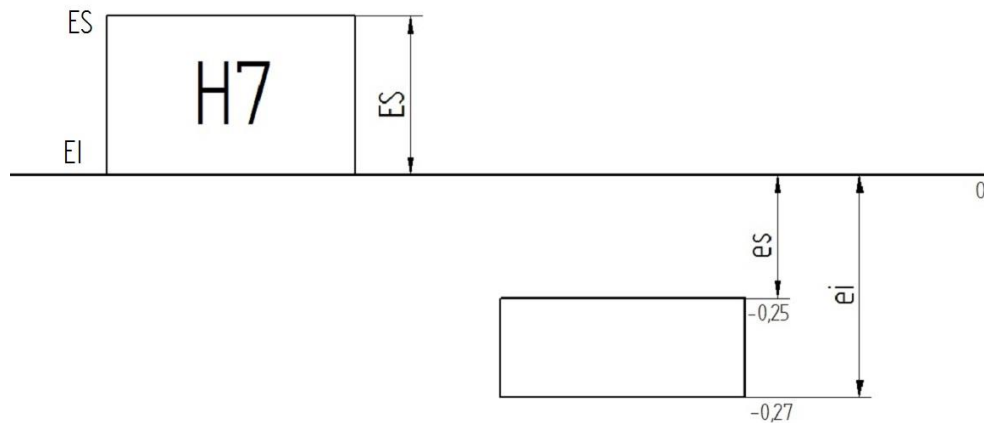
### 5.4.4.1 Vůle mezi statorem a rotorem

Vůle mezi ostříkovacím kroužkem a labyrintem je zajištěna tolerancemi na průměrech ostříkovacího kroužku a segmentů labyrintu. Níže je předkládán příklad výpočtu vůle:

Průměr ostříkovacího kroužku:  $d_o = 105_{-0,27}^{-2,25}$  mm

Vnitřní průměr labyrintu:  $D = 105$  H7 mm

$105$  H7 =  $105_0^{+0,035}$  mm



obr. 44.: Toleranční pole

Hodnoty tolerančního pole jsou určeny pomocí strojnických tabulek z normy ČSN 01 4201 a výpočtem je stanovena maximální a minimální vůle mezi statorem a rotorem. [11]

$$ES = +0,035 \text{ mm}$$

$$EI = 0 \text{ mm}$$

$$es = -0,25 \text{ mm}$$

$$ei = -0,27 \text{ mm}$$

$$V_{max} = ES - ei = 0,035 - (-0,27) = 0,305 \text{ mm}$$

$$V_{min} = EI - es = 0 - (-0,25) = 0,25 \text{ mm}$$

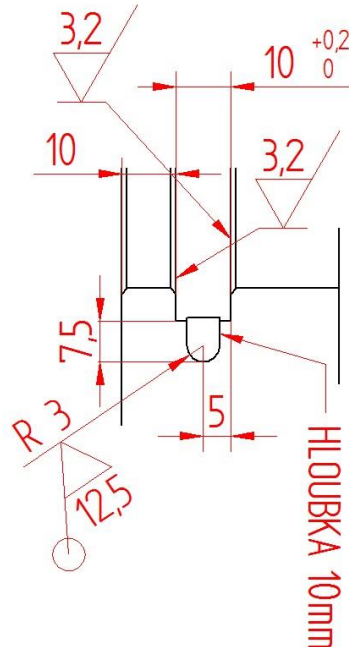
Jednoduchým výpočtem pak byla stanovena maximální vůle mezi statorem a rotorem. Maximální vůle je  $V_{max} = 305 \text{ mm}$  a minimální  $V_{min} = 0,25 \text{ mm}$ .

#### 5.4.4.2 Uložení labyrintu ve skříní

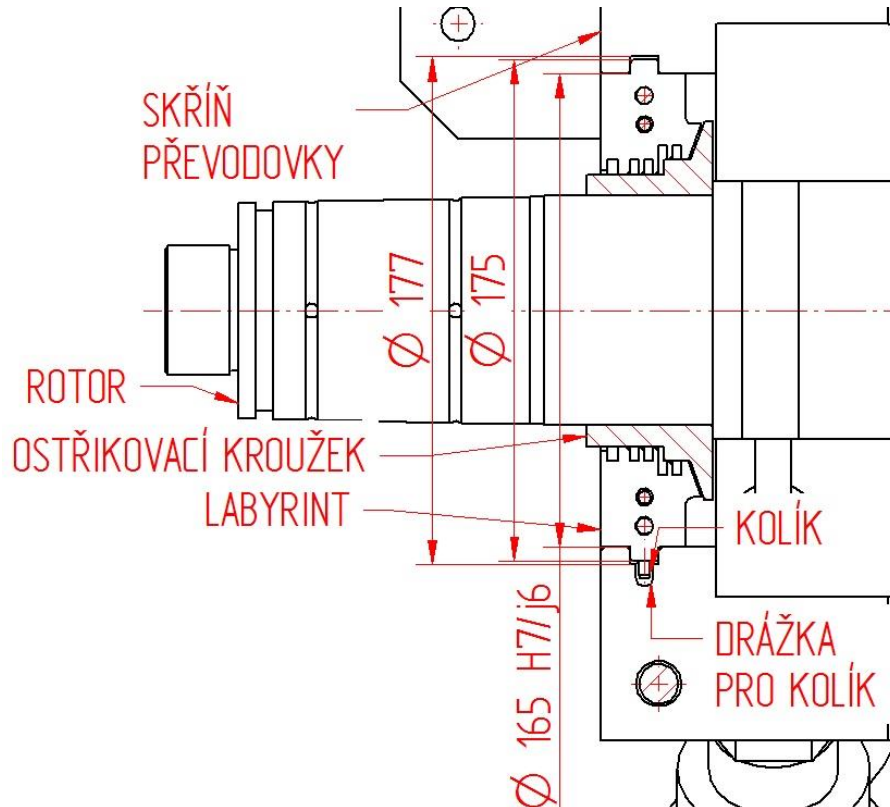
Radiální uložení labyrintu je vytvořeno pomocí přechodného uložení. Jedná se o uložení 165H7/j6. Přechodné uložení poskytuje buďto malou vůli, nebo malý přesah. Pokud po vyrobení bude uložení volné, labyrint lze snadno vložit do vývrtu ve skříní. Pokud bude uložení s přesahem, labyrint lze vložit do vývrtu zatlačením, nebo jemným poklepáním (je třeba dbát na neporušení povrchu). Axiálně je labyrint uložen ve vybrání o průměru  $d = 177 \text{ mm}$ , které má šířku  $10_0^{+0,2} \text{ mm}$  (obr. 45). Plocha labyrintu zasazená do vybrání má průměr  $d = 175 \text{ mm}$  a je široká  $10_{-0,2}^{-0,1} \text{ mm}$  (příloha 1). Jedná se tedy taktéž o uložení s vůlí. Proti pootočení je labyrint jištěn



kolíkem 4x12 ČSN 02 2150.11. Kolík nepřenáší téměř žádné zatížení, proto není třeba provádět pevnostní a jiné výpočty. Uložení labyrintu ve skříni se v podstatě od předchozího návrhu nijak nezměnilo.



obr. 45.: Úprava skříně

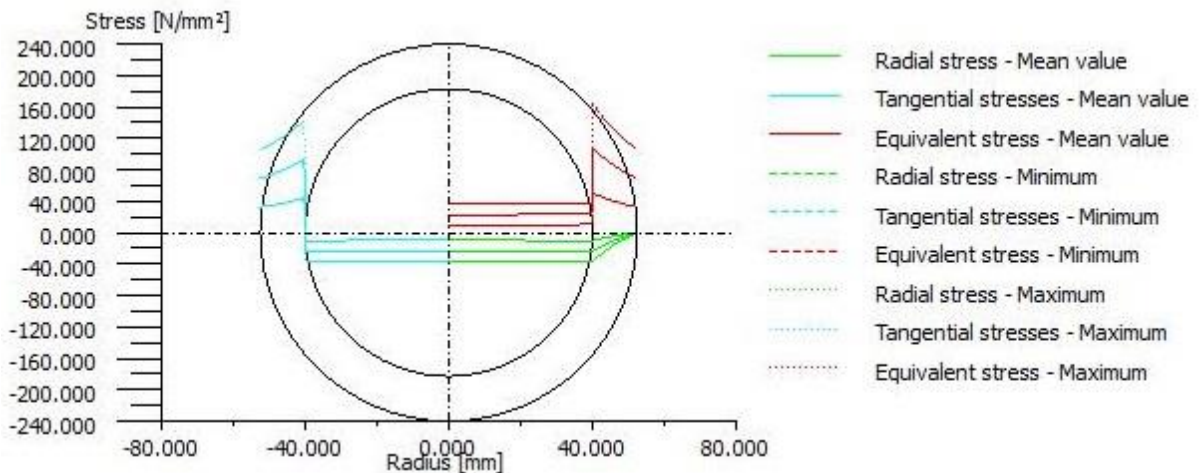


obr. 46.: Uložení labyrintu ve skříni



### 5.4.4.3 Výpočet nalisování ostříkovacího kroužku

Vzhledem k tomu, že nalisovaný ostříkovací kroužek nepřenáší žádný krouticí moment, je nalisovaný spoj dimenzován na moment setrvačnosti nalisovaného kroužku. Uložení je zvoleno z tabulky doporučených uložení ze strojnických tabulek a to  $d = 80H7/s6$ , což je doporučené uložení pro nerozebíratelný spoj pomocí nalisování. Vypočtený moment setrvačnosti kroužku byl zadán do programu Kisssoft a tak byl proveden výpočet celého nalisování (viz příloha 3). Pro zajímavost je přiložen graf průběhu tlaků při nalisování (obr. 47). [11]



obr. 47.: Průběhy napětí

### 5.4.4.4 Spojovací součásti

Spojovací součásti (tedy kolíky, šrouby a podložky) byly použity stejné jako v labyrintu popsaném v kapitole 5.2. Labyrint není zatěžován žádnými silami. Není proto důvod počítat předepjaté šroubové spoje a kontrolovat šrouby na otláčení. Kuželové kolíky slouží k zajištění stále stejné polohy po rozmontování a opětovném smontování labyrintu.

## 6. Závěrečné zhodnocení

V rešeršní části předkládané práce byly shrnuty a čtenáři přiblíženy jednotlivé možnosti utěsnění průmyslových převodovek. Rešerše obsahuje méně i více používané způsoby. Byl dán poněkud větší prostor zejména guferům a v-kroužkům, jelikož tyto dva druhy těsnění jsou jedny z nejpoužívanějších. U každého typu těsnění byly uvedeny možnosti použití daných typů, aby se čtenář mohl rozhodnout, co bude pro jeho aplikaci nejpoužitelnější. U bezkontaktních těsnění bylo složité popsat nejpoužívanější způsob řešení, protože univerzální řešení v podstatě neexistují.

V praktické části předkládané práce byl řešen návrh nového typu labyrintového těsnění. Díky inspiraci u jiných výrobců labyrintových těsnění bylo na labyrintu i na ostřikovacím kroužku vytvořeno osazení, které ztíží průchodnost oleje přes labyrintové těsnění. Návrhy labyrintu a ostřikovacího kroužku byly zhotoveny pomocí programu Solid Edge ST8 a to nejdříve pro tvorbu 3D modelů a poté i pro tvorbu výrobních výkresů navrhovaných součástí. Pro lepší stírací funkci bylo přidáno zkosení  $1,5 \times 45^\circ$  na břity segmentů labyrintu. Pro zlepšení přisávání z vnějšího prostředí byla přidána jedna díra o průměru 4 mm.

Oproti předchozímu typu labyrintu je předpoklad zvětšení sacího efektu z vnějšího prostoru právě kvůli přidané díře, která by v kombinaci s vytvořeným osazením měla výrazně zlepšit těsnící funkci labyrintu.

Zajímavá myšlenka byla použití zafukovaného labyrintu. Ten se ovšem pro tuto konkrétní převodovku nedá použít, jelikož u převodovky není možné provozovat kompresor a odsávání pro vyrovnávání tlaku v převodovce.

Předkladatel se v nejbližší době bude snažit ve firmě Wikov Gear prosadit vyzkoušení svých navržených konstrukčních změn, aby si mohl ověřit, zda se při řešení problému tekoucího těsnění vydal správným směrem. Na návrh je samozřejmě možné aplikovat nové studie a současnou podobu návrhu dále rozvíjet.



## Použitá literatura

- [1] **Wikov Gear s.r.o.** *O Wikovu*. [Online] © 2016 Wikov Industry a.s.  
[Citace: 10.10. 2016] Dostupné z: <http://www.wikov.com/cs/o-nas>
- [2] **Trelleborg Sealing Solutions.** *Rotary seals*. [Online] © Trelleborg Sealing Solutions. All right reserved. [Citace: 15. 10. 2016] Dostupné z:  
[http://www.tss.trelleborg.com/global/en/products\\_2/rotarysealsshiftseals/rotary-seals-shaft-seals.html](http://www.tss.trelleborg.com/global/en/products_2/rotarysealsshiftseals/rotary-seals-shaft-seals.html)
- [3] **SKF, Group.** SKF. *Průmyslová těsnění*. [Online] SKF GROUP © COPYRIGHT.  
[Citace: 15. 10. 2016] Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/seals/index.html>
- [4] **VK LOŽISKA, s.r.o.** *Gufera, manžety, O-kroužky*. [Online] © 2016, VK LOŽISKA s.r.o. – všechna práva vyhrazena [Citace: 17.10. 2016] Dostupné z:  
<http://www.vkloziska.cz/gufera-manzety-o-krouzky>
- [5] **DILLINGER, J. a kol.** *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. 978-80-86706-19-1.
- [6] **POKORNÝ, spol. s.r.o.** *Mechanické ucpávky*. [Online] © 2016 POKORNÝ, spol. s.r.o. [Citace: 20.10. 2016] Dostupné z: <http://www.tesneni.cz/katalog-produktu/tesneni-rotacnich-stoju/mechanicke-ucpavky>
- [7] **E-konstruktor.** *Labyrintové těsnění* [Online] © 2013 – E-konstruktor.  
[Citace: 25. 10. 2016] Dostupné z: <http://e-konstruktor.cz/novinka/labyrintove-tesneni>
- [8] **Garlock, Inc.** *Bearing isolators*. [Online] Garlock, © 2009-2016 Garlock family of companies. All rights reserved. [Citace: 25. 10. 2016.] Dostupné z:  
[www.garlock.com/download.php?obj\\_id=787](http://www.garlock.com/download.php?obj_id=787).
- [9] **NORIA.** Machinery lubrication. *Using labyrinth seals to control contaminant ingress*. [Online] © NORIA CORPORATION. [Citace: 26. 10. 2016.] Dostupné z:  
[http://www.machinerylubrication.com/Read/29452/using-labyrinth-seals?utm\\_source=feedburner&utm\\_medium=feed&utm\\_campaign=Feed%3A+noria%2Fmachinerylubrication%2Fmain+\(ML+Home+Page\)](http://www.machinerylubrication.com/Read/29452/using-labyrinth-seals?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+noria%2Fmachinerylubrication%2Fmain+(ML+Home+Page)).
- [10] **EURO.** *Martin Wichterle*. [Online] Copyright 2016 Mladá fronta a.s.  
[Citace: 28. 10. 2016] Dostupné z: <http://www.euro.cz/byznys/martin-wichterle-ventrniky-misto-cocek-895691>





[11] **DRASTÍK, František.** Strojnické tabulky pro konstrukci i dílnu. Ostrava:  
Montanex, 1999. 80-85780-95-X.



## Seznam obrázků

obr. 1.: Logo firmy Wikov.....	- 7 -
obr. 2.: Struktura skupiny Wikov Industry.....	- 7 -
obr. 3.: Martin Wichterle.....	- 8 -
obr. 4.: Popis gufera.....	- 11 -
obr. 5.: Graf požadavků na souosost hřídele v závislosti na jmenovitém průměru.....	- 12 -
obr. 6.: Těsnící funkce.....	- 13 -
obr. 7.: Graf třecích ztrát.....	- 15 -
obr. 8.: Břit směrem ven.....	- 16 -
obr. 9.: Břit směrem dovnitř.....	- 16 -
obr. 10.: Profil V - kroužku.....	- 17 -
obr. 11.: V - kroužek na hřídel.....	- 17 -
obr. 12.: Těsnící funkce.....	- 18 -
obr. 13.: Těsnící funkce – ventil plastického maziva.....	- 18 -
obr. 14.: Dvojice v-kroužků.....	- 18 -
obr. 15.: V-kroužky pro zadržení oleje.....	- 18 -
obr. 16.: Přídavné těsnění.....	- 19 -
obr. 17.: Kombinace s labyrintovým těsněním.....	- 19 -
obr. 18.: Přehled materiálů.....	- 20 -
obr. 19.: Montáž v-kroužku.....	- 21 -
obr. 20.: Kazetové těsnění Trelleborg.....	- 21 -
obr. 21.: Plstěný kroužek.....	- 23 -
obr. 22.: Mechanické těsnění.....	- 24 -
obr. 23.: Konstrukce kazetových těsnění.....	- 24 -
obr. 24.: Axiální hřídelové těsnění.....	- 25 -
obr. 25.: Štěrbínové těsnění.....	- 27 -
obr. 26.: Frézovaná drážka.....	- 27 -
obr. 27.: Labyrintové těsnění.....	- 28 -
obr. 28.: Zafukovaný labyrint.....	- 29 -
obr. 29.: Převodovka RSB 250.....	- 31 -
obr. 30.: Vysvětlení problému.....	- 32 -
obr. 31.: Labyrint.....	- 33 -
obr. 32.: Poloha spojovacích součástí.....	- 34 -
obr. 33.: Princip odvodu oleje.....	- 35 -
obr. 34.: Náhled do převodovky.....	- 36 -
obr. 35.: Ustavení polohy labyrintu.....	- 36 -
obr. 36.: Díry pro přísávání.....	- 37 -
obr. 37.: Princip přísávání.....	- 37 -
obr. 38.: Ostříkovací kroužek nalisovaný.....	- 38 -
obr. 39.: Ostříkovací kroužek soustružený na hřídeli.....	- 38 -
obr. 40.: Břity.....	- 39 -
obr. 41.: Úprava přísávání.....	- 40 -
obr. 42.: Úprava ostříkovacího kroužku.....	- 40 -
obr. 43.: Sestavení.....	- 41 -
obr. 44.: Toleranční pole.....	- 42 -
obr. 45.: Úprava skříně.....	- 43 -
obr. 46.: Uložení labyrintu ve skříně.....	- 43 -



obr. 47.: Průběhy napětí ..... - 44 -

## Seznam tabulek

tab. 1.: Obvodová rychlost a drsnost povrchu ..... - 19 -

## Seznam příloh

Příloha 1: Výkres labyrintu

Příloha 2: Výkres ostříkovacího kroužku

Příloha 3: Výpočet nalisování