

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství

Studijní zaměření: 2302T019 Stavba výrobních strojů a zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Konstrukční úprava frézovacího zařízení IFVW 103

Autor: **Bc. Jiří Petrou**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Zdeněk HUDEC, CSc.**

Akademický rok 2017/2018

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Zdeňku Hudcovi, CSc. za vedení mé práce a poskytnuté rady. Děkuji také Ing. Jiřímu Kubíčkovvi za ochotu při konzultacích a za poskytnuté informace. V neposlední řadě bych také rád poděkoval své rodině za psychickou a hmotnou podporu při realizaci této práce.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

| | | | |
|----------------------|---|-----------------------|-------------------------|
| AUTOR | Příjmení Petrou | Jméno Jiří | |
| STUDIJNÍ OBOR | 2302T019 „Stavba výrobních strojů a zařízení“ | | |
| VEDOUcí PRÁCE | Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Hudec, CSc. | Jméno Zdeněk | |
| PRACOVIŠTĚ | ZČU - FST - KKS | | |
| DRUH PRÁCE | DIPLOMOVÁ | BAKALÁŘSKÁ | Nehodící se škrtněte |
| NÁZEV PRÁCE | Konstrukční úprava frézovacího zařízení IFVW 103 | | |

| | | | | | |
|----------------|---------|----------------|-----|--------------------|------|
| FAKULTA | strojní | KATEDRA | KKS | ROK ODEVZD. | 2018 |
|----------------|---------|----------------|-----|--------------------|------|

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

| | | | | | |
|---------------|----|---------------------|----|----------------------|----|
| CELKEM | 76 | TEXTOVÁ ČÁST | 58 | GRAFICKÁ ČÁST | 18 |
|---------------|----|---------------------|----|----------------------|----|

| | |
|---|---|
| <p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p> | <p>Diplomová práce obsahuje rešerši frézovacích hlav a způsobů mazání ozubených kol a ložisek. Zabývá se konstrukční úpravou frézovacího zařízení IFVW 103. Obsahuje výpočty uložení a tuhosti frézovacího zařízení. Je v ní proveden podrobný konstrukční návrh.</p> |
| <p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p> | <p>Frézovací hlava, IFVW 103, horizontální vyvrtávací stroj, olej + vzduch, mazání, chlazení, expander, výpočet ložisek, teplotně stálé otáčky</p> |

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

| | | | |
|--------------------------|---|-----------------|----------------------------|
| AUTHOR | Surname Petrou | Name Jiří | |
| FIELD OF STUDY | 2302T019 “Design of Manufacturing Machines and Equipment“ | | |
| SUPERVISOR | Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Hudec, CSc. | Name Zdeněk | |
| INSTITUTION | ZČU - FST - KKS | | |
| TYPE OF WORK | DIPLOMA | BACHELOR | Delete when not applicable |
| TITLE OF THE WORK | Construction adjustment of milling device IFVW 103 | | |

| | | | | | |
|----------------|------------------------|-------------------|----------------|---------------------|------|
| FACULTY | Mechanical Engineering | DEPARTMENT | Machine Design | SUBMITTED IN | 2018 |
|----------------|------------------------|-------------------|----------------|---------------------|------|

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

| | | | | | |
|----------------|----|------------------|----|-----------------------|----|
| TOTALLY | 76 | TEXT PART | 58 | GRAPHICAL PART | 18 |
|----------------|----|------------------|----|-----------------------|----|

| | |
|---|--|
| BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS | This diploma thesis contains an overview of milling heads and the way of lubrication bearings and gears. Construction adjustments of milling head IFVW 103. Calculation bearings a the stiffens of the device. The detailed design proposal. |
| KEY WORDS | Milling device, IFVW 103, horizontal boring machine, oil + air, lubrication, cooling, expander, bearings calculation, Thermally safe operating speed |

Obsah

| | | |
|--------|--|----|
| 1 | Úvod..... | 4 |
| 2 | Zadavatel – ŠKODA MACHINE TOOL a.s. | 4 |
| 3 | Úvod do problematiky | 4 |
| 4 | Horizontální vyvrtávací a frézovací stroje..... | 5 |
| 4.1 | Stolové provedení | 5 |
| 4.1.1 | Pevný stojan | 5 |
| 4.1.2 | T – provedení | 6 |
| 4.2 | Deskové provedení | 6 |
| 4.3 | Horizontální vyvrtávací stroje vyráběné Škoda Machine Tool | 7 |
| 5 | Příslušenství pro horizontální vyvrtávací a frézovací stroje | 8 |
| 5.1 | Výměna nástrojů..... | 8 |
| 5.2 | Otočné stoly..... | 8 |
| 5.3 | Frézovací a vyvrtávací hlavy | 9 |
| 5.3.1 | Frézovací hlavy společnosti Škoda Machine Tool..... | 9 |
| 5.3.2 | Frézovací hlavy od společnosti Tos Varnsdorf..... | 11 |
| 5.3.3 | Další frézovací hlavy..... | 11 |
| 5.4 | Další příslušenství..... | 12 |
| 6 | Analýza stávajícího řešení s požadavky na změnu | 14 |
| 6.1 | Hlava IFVW 103 | 14 |
| 6.1.1 | Parametry stávajícího řešení hlavy IFVW 103 | 15 |
| 6.2 | Požadavky na změnu | 16 |
| 7 | Metody mazání..... | 16 |
| 7.1 | Plastické mazivo (Tuk)..... | 17 |
| 7.2 | Olejová lázeň | 17 |
| 7.3 | Olejová cirkulace | 18 |
| 7.4 | Vstřikování oleje..... | 19 |
| 7.5 | Olej + vzduch..... | 19 |
| 8 | Metody chlazení tělesa frézovací hlavy | 21 |
| 9 | Návrh variant možného řešení | 23 |
| 10 | Pevnostní výpočty | 23 |
| 10.1 | Zatížení frézovací hlavy..... | 23 |
| 10.1.1 | První zátěžný stav..... | 23 |

| | | |
|--------|--|----|
| 10.1.2 | Druhý zátěžný stav | 23 |
| 10.1.3 | Třetí zátěžný stav | 24 |
| 10.1.4 | Výpočet řezných sil | 24 |
| 10.2 | Kuželové soukolí | 25 |
| 10.3 | Uložení pastorku | 28 |
| 10.3.1 | Teplotně stálé otáčky..... | 30 |
| 10.4 | Pevnostní kontrola pastorku..... | 32 |
| 10.5 | Uložení vřetene | 33 |
| 10.5.1 | Teplotně stálé otáčky..... | 35 |
| 10.6 | Pevnostní kontrola vřetene..... | 36 |
| 10.7 | Tuhost v místě nástroje | 36 |
| 11 | Výběr varianty | 38 |
| 11.1 | Varianta 1. Olej lázeň – Olej lázeň | 38 |
| 11.2 | Varianta 2. Tuk – Olej cirkulace..... | 38 |
| 11.3 | Varianta 3.Olej cirkulace – Olej cirkulace..... | 39 |
| 11.4 | Varianta 4. Tuk – Olej + vzduch..... | 39 |
| 11.5 | Varianta 5. Olej + vzduch – Olej + vzduch | 39 |
| 11.6 | Rozhodovací tabulka..... | 40 |
| 11.7 | Vybraná varianta..... | 40 |
| 12 | Konstrukční návrh..... | 41 |
| 12.1 | Přípevnění ke stroji | 42 |
| 12.2 | Uložení a přenos kroutícího momentu | 42 |
| 12.3 | Aretace a natáčení frézovací hlavy | 43 |
| 12.4 | Rozvod pracovních medií | 46 |
| 12.4.1 | Upínání nástroje a chlazení středem UN a CHS | 49 |
| 12.4.2 | Chlazení vnější CHV..... | 50 |
| 12.4.3 | Ochrana vzduchem OV | 50 |
| 12.4.4 | Mazání systémem olej + vzduch | 51 |
| 12.4.5 | Chlazení hlavy CHT a CHZ | 52 |
| 13 | Technickoekonomické hodnocení a Závěr | 53 |
| 14 | Použité zdroje..... | 55 |
| 15 | Seznam Obrázků | 55 |
| 16 | Seznam tabulek | 57 |
| 17 | Seznam Příloh | 58 |

TEORETICKÁ ČÁST

1 Úvod

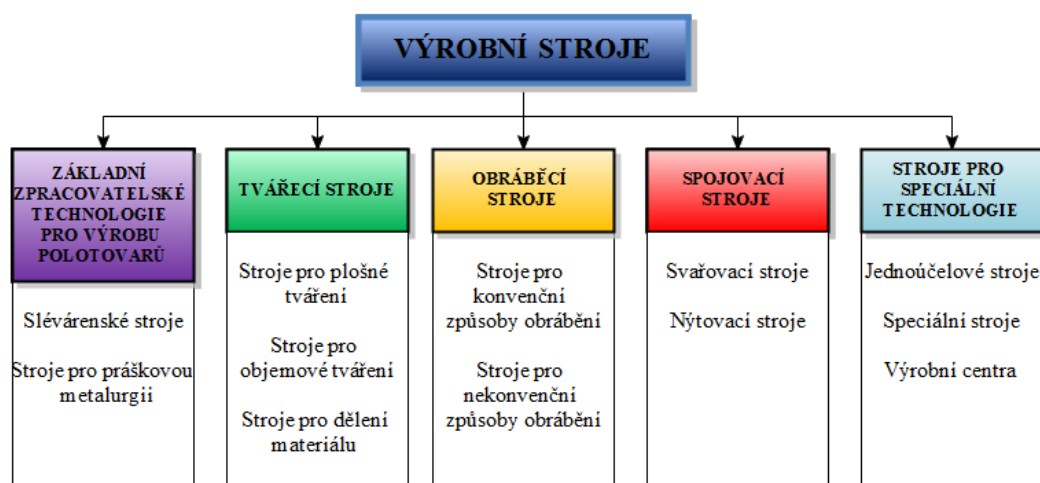
Tato diplomová práce se zabývá konstrukční úpravou frézovací hlavy IFVW 103. Úprava spočívá v zavedení chladicího systému do tělesa hlavy a změně mazání kuželového soukolí a případně i ložisek. Práce začíná rešerší, kde jako první je představen zadavatel diplomové práce ŠKODA MACHINE TOOL a.s. Jsou uvedeny jeho výrobky, a to horizontální frézovací a vyvrtávací stroje a jejich příslušenství. Zmíněny jsou také konkurenční produkty. Následuje důkladný popis stávajícího provedení frézovací hlavy IFVW 103 a požadavky na změnu. Práce pokračuje rešerší způsobů mazání. Praktická část začíná návrhem a vypočtením uložení. Navazuje návrh variant mazání a výběr suboptimální varianty a její konstrukční rozpracování. Jako poslední je uvedeno technickoekonomické zhodnocení a celá práce je shrnuta v závěrečné kapitole a je zhodnoceno nové konstrukční řešení frézovací hlavy.

2 Zadavatel – ŠKODA MACHINE TOOL a.s.

Historie firmy Škoda sahá až do roku 1859, kdy v Plzni založil Hrabě Valdštejn pobočku své slévárny a strojírně. Roku 1869 továrnu odkoupil její hlavní inženýr (od roku 1866) Emil Škoda, jehož jméno firma později nesla (jako tzv. Škodovy závody) [1]. Začátkem 20. století zaujala firma Škoda přední místo mezi evropskými strojírenskými závody. První obráběcí stroje pro vlastní potřebu se zde začaly vyrábět v roce 1911, po ukončení první světové války se začaly vyrábět i pro tuzemské a zahraniční zákazníky. Za druhé světové války došlo k poklesu a k obnovení výroby a vývoje došlo až po skončení války. Toto období se vyznačovalo výrobou strojů, které díky svému originálnímu řešení patřily ke světové špičce. Porevoluční doba je spojena s privatizací podniku, který se transformoval na nové trhy, aby byl schopen konkurence. Byl vytvořen podnik ŠKODA MACHINE TOOL a.s. – DORRIES SCHARMANN GROUP, s.r.o. a byla zahájena výroba zcela nových produktů. Podnik měnil majitele ještě jednou, posledním majitelem je ruský koncern Stankomplex Group. Nyní se podnik zabývá hlavně konstrukcí, výrobou, montáží a servisem těžkých horizontálních frézovacích a vyvrtávacích strojů Škoda HCW, univerzálních hrotových soustruhů Škoda SR, dále otočných stolů TDV, frézovacích, vyvrtávacích hlav a ostatního příslušenství [2].

3 Úvod do problematiky

Výrobní stroje můžeme rozdělit podle mnoha aspektů. Pro upřesnění oblasti naší problematiky se nejlépe hodí rozdělení dle technologického procesu.



Obr. 1. Výrobní stroje [3]

Výrobní stroje můžeme rozdělit do několika skupin. V našem případě nás budou zajímat obráběcí stroje. Hlavním účelem všech výrobních strojů je úprava tvaru polotovaru na požadovaný tvar výrobku. Obráběcí stroje získají požadovaný tvar výrobku pomocí odebrání přebytečného materiálu. Realizace odebrání materiálu se provádí nekonvenční metodou neboli nemechanicky. Například elektroerozivní, ultrazvukové obrábění, dále obrábění laserem či plasmou a jiné. Nebo konvenční metodou, tudíž mechanickým úběrem materiálu pomocí nástroje. Zde rozdělujeme podle charakteristiky hlavního řezného pohybu metody soustružení, frézování, obrážení, hoblování, broušení, protahování a různé další. Frézovací hlavy spadají pod problematiku frézování. Konkrétně jsou příslušenstvím k horizontálním frézovacím a vyvrtávacím strojům, kde rozšiřují možnosti tohoto stroje.

4 Horizontální vyvrtávací a frézovací stroje

Horizontální vyvrtávací a frézovací centra, nebo také horizontky, jak se běžně nazývají, se vyrábí ve dvou provedeních. Desková a stolová, kde stolová se dále dělí na T – provedení a s pevným stojanem. Hlavními charakteristickými rysy horizontek je upnutý obrobek, hlavní řezný pohyb vykonává rotující nástroj, posuvné pohyby koná nástroj i obrobek. Používá se pro obrábění tvarově náročných obrobků. Vyniká především díky své univerzálnosti a jeho operace lze automatizovat.

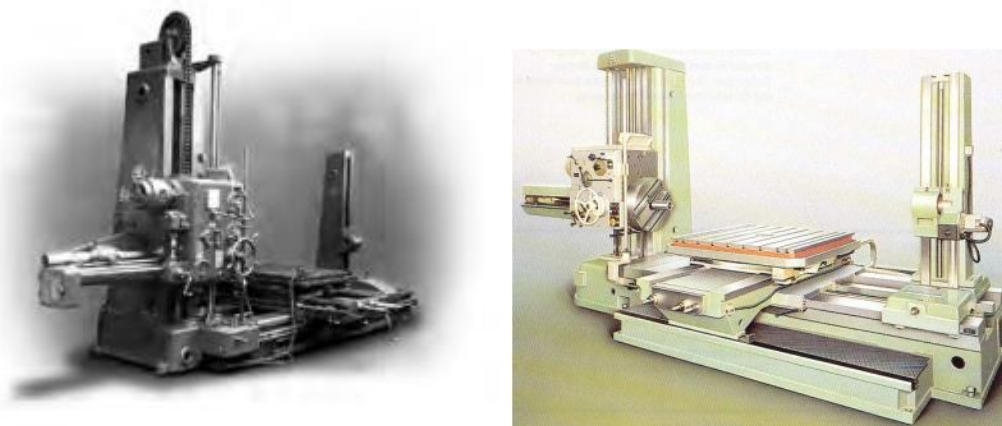
4.1 Stolové provedení

Stolové horizontky se v dnešní době používají především u menších a středně velikých obrobků. U těchto strojů lze lehce zakomponovat veškeré prvky automatizace jako je automatická výměna nástrojů či obrobků a podobné. Funkčními skupinami jsou:

- Lože, stojan
- Vřeteník – vřeteno
- Stůl
- Pohon, posuvy
- Vedení, spojení, upínání

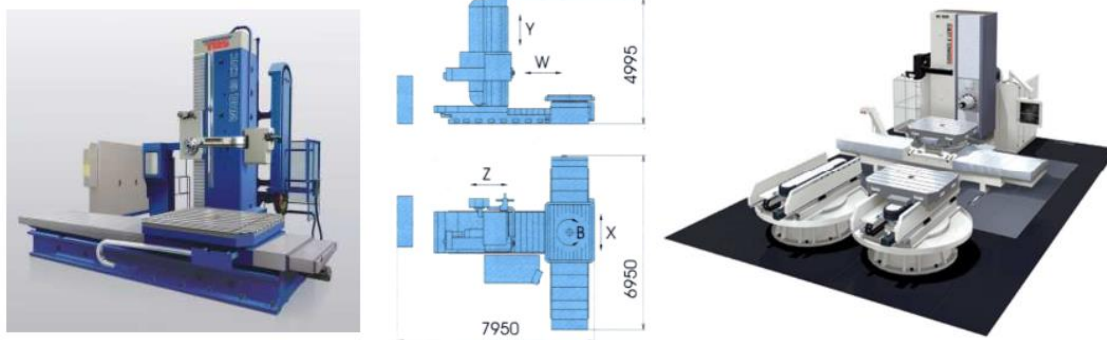
4.1.1 Pevný stojan

Základem celého stroje je lože. Na loži je pevně umístěn stojan a pohyblivý stůl. Na pevném stojanu je umístěn posuvný vřeteník, z kterého se vysouvá vřeteno. Toto řešení se používá pro obrábění menších obrobků.



Obr. 2. Horizontka s pevným stojanem vlevo starší stroj od firmy Škoda vpravo stroj od TOS Varnsdorf [4] [5]

4.1.2 T – provedení



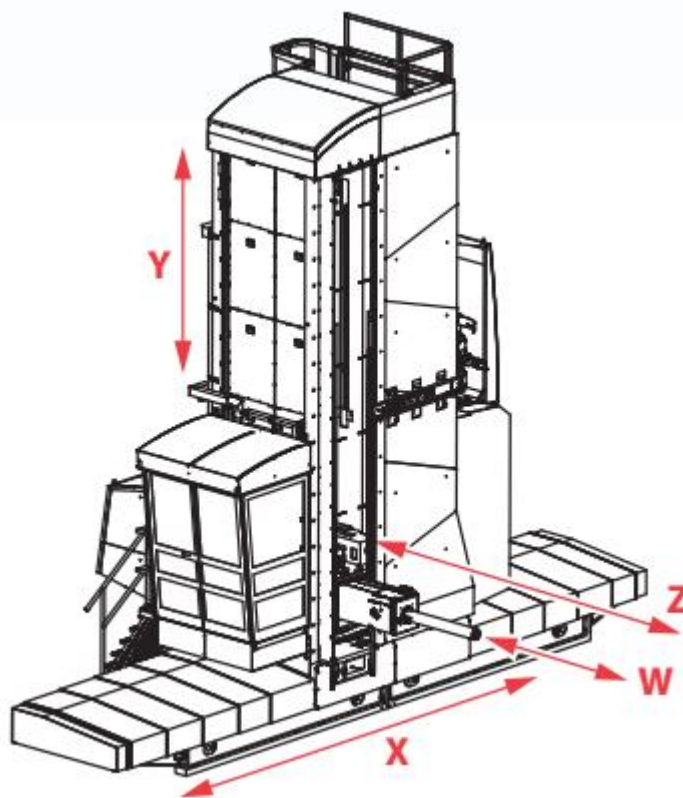
Obr. 3. T – vlevo provedení WHQ 13 vpravo Giddings and Lewis [4]

Z Obr. 3 je patrné že T – provedení umožňuje i posuv se stojanem, což nám nabízí větší prostor pro obrobek. Stroj lze také pomocí výměnných stolů zakomponovat do výrobní linky. Horizontka WHQ 16 může pohybovat s obrobkem a natáčet jej pomocí os X a B. Dále pomocí os Y a Z nastavit požadovanou polohu vřetena. Samotné vřeteno se může pohybovat ve směru osy W, a to až do 900 mm u tohoto stroje.

4.2 Deskové provedení

U deskového provedení je obrobek upnut na nepohyblivé desce veškeré posuvy musí vykonávat stojan. Stojan se tedy pohybuje po loži, znázorněná osa X. Výška vřetene je nastavená pomocí nastavení výšky vřeteníku na stojanu, osa Y. Vysunutí vřetene je parametr W. Vřeteno je uloženo v pinole, která je také výsuvná. Vysunutí pinoly se označuje písmenem Z. Stroje jsou určeny pro přesné a vysoce produktivní souřadnicové vrtání, vyvrtávání, frézování a řezání závitů zejména obrobků velkých rozměrů a hmotností nebo prostorově členitých obrobků z litiny, ocelolitiny a oceli. [6]

Stroje naleznou použití v mnoha odvětvích, jako jsou například dopravní technika, těžební technika, lodní průmysl a energetika. Obrobky pro horizontky jsou například bloky dieselových motorů do lodí, rámy vagonů a podvozky a hojně využívané jsou stroje pro obrábění vrchlíků větrných elektráren.



Obr. 4. WRD 130 TOS VARNSDORF [6]

4.3 Horizontální vyvrtávací stroje vyráběné Škoda Machine Tool

Společnost Škoda Machine Tool vyrábí horizontální a vyvrtávací stroje ve třech základních řadách. První řada FCW jsou menší stroje s výbornou dynamikou díky valivému vedení na ose X. Další výhodou je jednoduchá údržba a výhodný poměr cena výkon.

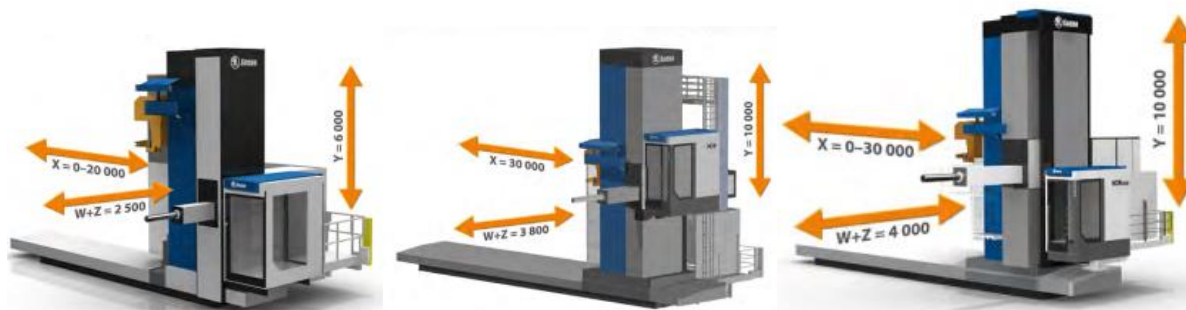
HCW 1 – 4 jsou oproti FCW plně hydrostaticky vedené a nabízejí vysoký krouticí moment, ale i dostatečně vysoký rozsah otáček na dokončovací operace.

Stroje typu HCW 2000 – 4000 jsou plně hydrostaticky vedené. Díky převodovce vestavěné v pinole je stroj schopen dosahovat velikých výsuvů a vysokých otáček.

| | Průměr vřetena (mm) | Výkon hlavního motoru (kW) | Otáčky vřetena (ot/min) | Výsuv pinoly v ose Z (mm) | Výsuv vřetena v ose W (mm) | Max. pojezd stojanu v ose Y (mm) |
|-----------|---------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| FCW 140 | 140 | 37 | 3000 | 1000 | 900 | 5000 |
| FCW 150 | 150 | 52 | 3000 | 1200 | 900 | 5000 |
| FCW 160 | 160/180 | 58/74 | 3000/ 3500 | 1500 | 1000 | 6000 |
| HCW 1 | 150/160 | 71 | 3000 | 1200 | 1000 | 5000 |
| HCW 2 | 160/180/200 | 100 | 2500 | 1300 | 1200 | 7000 |
| HCW 3 | 200/225/250/262 | 129 | 2000 | 1600 | 1500 | 9000 |
| HCW 4 | 262/280/300 | 147 | 2000 | 2000 | 1800 | 10000 |
| HCW 1000* | 130 | 37 | 3000 | – | 900 | 3000 |
| HCW 2000 | 160/180 | 64 | 3500 | 1750 | 1250 | 5000 |
| HCW 3000 | 180/200/225 | 103 | 3000 | 2000 | 1400 | 7000 |
| HCW 4000 | 225/250/262 | 120 | 3000 | 2500 | 1500 | 9000 |

* kluzné vedení

Tabulka 1. Přehled Horizontálních vyvrtávacích strojů od Škoda Machine Tool



Obr. 5. FCW, HCW 1-4, HCW 2000-4000

5 Příslušenství pro horizontální vyvrtávací a frézovací stroje

Příslušenství k horizontálním vyvrtávacím a frézovacím strojům zvyšuje užitečnost strojů a zkracuje strojní časy. Pomocí dnešního moderního příslušenství je možné číslicové řízení obrábění v pěti osách. Pomocí moderní výměny nástrojů minimalizujeme prostoje a zefektivňujeme výrobní proces.

5.1 Výměna nástrojů

V dnešní době probíhá výměna nástrojů na stroji automaticky. Dvěma nejrozšířenějšími způsoby, a to automatickou výměnou nástrojů pomocí přijetí vyměňovače na sloupu stroje (ATC). Druhý způsob se nazývá robotická výměna (RTC). Při robotické výměně robot vyjme nový nástroj ze skladiště a pomocí svých kleští vymění nástroj na vřetenu stroje či vřetenu frézovací hlavy v požadované pozici. Tato metoda je časově příznivější.



Obr. 6. RTC robotická výměna nástrojů (vlevo), ATC automatická výměna nástrojů (vpravo) [5]

5.2 Otočné stoly

Otočné stoly můžeme považovat jako samostatný produkt, či jako příslušenství pro horizontky. Mohou se pomocí nich provádět i soustružnické operace (Karuselovací stoly). Stoly lze uzpůsobit, aby bylo možné jejich naklopení. Toho se nejvíce využívá při obrábění vrchlíků pro větrné elektrárny.



Obr. 7. Naklápěcí stůl při obrábění vrchlíku větrné elektrárny (Škoda tdv tilt) [5]

5.3 Frézovací a vyvrtávací hlavy

Frézovací hlavy mohou být jednoosé či dvouosé. Polohování os může být ruční, nebo pomocí Hirtovo spojky můžeme tzv. indexovat. To znamená nastavení hlavy většinou po 1° nebo 2,5° do požadované polohy. Toto otáčení nelze provádět při řezných operacích. Proto existuje třetí řešení natáčení pohonným mechanismem (např. ozubenými koly). Tato možnost se používá u CNC hlav, kde můžeme pomocí kontinuálního polohování umožnit CNC obrábění.

Vyvrtávací hlavy umožňují obrábění velikých otvorů.



Obr. 8. Možnosti využití frézovací hlavy [7]

5.3.1 Frézovací hlavy společnosti Škoda Machine Tool

| Ruční jednoosá hlava | IFVW 2C, 4C | Pravouhlá hlava | 101, 102, 103, 104 | Ruční dvouosá hlava | IFVW 3C | Univerzální 45° hlava | IFVW 203 |
|-----------------------------|-------------|------------------------|--------------------|----------------------------|-----------|------------------------------|--------------|
| Max. výkon: | 55 kW | Max. výkon: | 25–85 kW | Max. výkon: | 55 kW | Max. výkon: | 30 kW |
| Max. moment: | 2 600 Nm | Max. moment: | 1000–4000Nm | Max. moment: | 2600 Nm | Max. moment: | 1500Nm |
| Úhel: | libovolný | Úhel: | à 1°/à 2,5° | Úhel: | libovolný | Úhel: | à 1° / à 2,5 |

Tabulka 2. Frézovací hlavy firmy Škoda [5]



Obr. 9. IFVW 4C, 102, IFVW 3C, IFVW 203 [5]

| | | | | | | | |
|------------------------------------|----------|----------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Prodloužená přímá hlava | IFVW 40 | Univerzální 90° hlava | IFVW 206, 207, 208 | Malá Pravouhlá hlava | IFVW 112, 113, 114 | CNC univerzální hlava | UFK 600, 1000, 2000, 2400 |
| Max. výkon: | 80 kW | Max. výkon: | 25-73 kW | Max. výkon: | 25 kW | Max. výkon: | 25-50 kW |
| Max. moment: | 7 000 Nm | Max. moment: | 1000–3500 Nm | Max. moment: | 600Nm | Max. moment: | 600–2 400 Nm |
| Délka: | 1 230 mm | Úhel: | à 1°/à 2,5° | Úhel: | à 1°/à 2,5° | Úhel: | kontinuální |
| | | | | Délka: | až 1570 mm | | |

Tabulka 3. Frézovací hlavy firmy Škoda [5]



Obr. 10. IFVW 40, IFVW 206, IFVW 112, UFK 600 [5]

| | | | | | | | |
|--|------------------------------|---------------------------------------|-------------------|---|----------|--|------------------------|
| Standartní vyvrtávací hlava | IWD 125, 320, 500, 700 | Velká vyvrtávací hlava | IWD 1100, 2000 | Mikro- indexovací jednoosá hlava | IFVW 110 | Mikro- indexovací dvouosá hlava | IFVW 201 MI, 210 MI |
| Velikost hlavy: | 125–700 mm | Velikost hlavy: | 1100–2000 mm | Max. výkon: | 25 kW | Max. výkon: | 25–30 kW |
| Průměr obrábění: | až 1765 mm | Průměr obrábění: | 1150–3200 mm | Max. moment: | 600 Nm | Max. moment: | 800–1000 Nm |
| | | Hloubka obrábění: | až 5 100 mm | Úhel: | à 0,001° | Úhel: | à 0,001° |

Tabulka 4. Frézovací a vyvrtávací hlavy [5]




Obr. 11. IWD 125, IWD 1100, IFVW 110, IFVW 201 MI [5]

5.3.2 Frézovací hlavy od společnosti Tos Varnsdorf

Frézovací hlavy od společnosti Tos Varnsdorf jsou technickým řešením obdobné těm od společnosti Škoda Machine Tool a. s. Jsou však koncipované na menší výkony. Specialitou je hlava HV / E-H, která je poháněna vestavěným elektro vřetenem. Pomocí této hlavy jsme schopni dosáhnout velice vysokých otáček, čehož se využívá u High speed cuttingu (HSC).

HPI 50


Jednoosá frézovací hlava pravoúhlá polohovaná po 1°.

| | | |
|-----------------------------|------|---|
| Počet os | 1 |  |
| Otáčky (min ⁻¹) | 3500 | |
| Výkon (kW) | 37 | |
| Moment (Nm) | 1200 | |
| Polohování | 1° | |
| Hmotnost (kg) | 600 | |

Tabulka 5. Parametry HPI 50 [6]

HV / E-H

Frézovací hlava vidlicová 1 nebo 2osá s integrovaným elektro-vřetenem.

| | | | |
|-----------------------------|--------|--------|---|
| Počet os | 2 | 2 |  |
| Otáčky (min ⁻¹) | 22000 | 18000 | |
| Výkon (kW) | 20 | 28 | |
| Moment (Nm) | 30 | 90 | |
| Polohování | 0,001° | 0,001° | |
| Hmotnost (kg) | 800 | 800 | |

Tabulka 6. Parametry HV / E-H [6]

5.3.3 Další frézovací hlavy

Fidia M 5 H

Frézovací hlava M 5 H od italské společnosti Fidia je zástupcem v kategorii dvouosých frézovacích hlav s pohonem pomocí ozubeného převodu od vřetena stroje.

| | | | |
|-------------|--------------------------|-------------|-------------|
| Osa A | ±110° | | |
| Osa C | ± 200° (optional ± 360°) | | |
| Otáčky | 3000 1/min | 24000 1/min | 10000 1/min |
| Výkon | 47 kW | 35 kW | 35 kW |
| Toolholder | ISO50 | HSK63A | HSK100A |
| Krouť. Mom. | 1100 Nm | 56 Nm | 160 Nm |

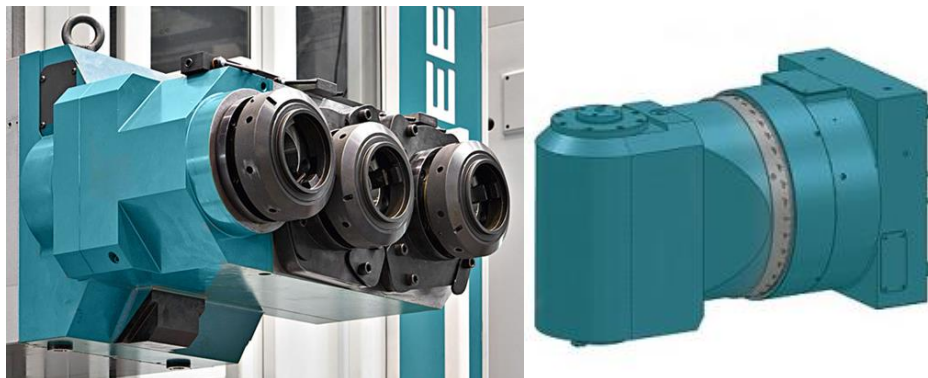
Tabulka 7. Parametry frézovací hlavy M 5 H [8]



Obr. 12. M 5 H [8]

Pama

Italská společnost Pama obdobně jako Škoda Machine Tool se zabývá výrobou horizontálních vyvrtávacích a frézovacích strojů. V její nabídce můžeme nalézt širokou nabídku frézovacích hlav.



Obr. 13. Frézovací hlava pro obrábění T drážek, jednoosá pravoúhlá frézovací hlava [9]

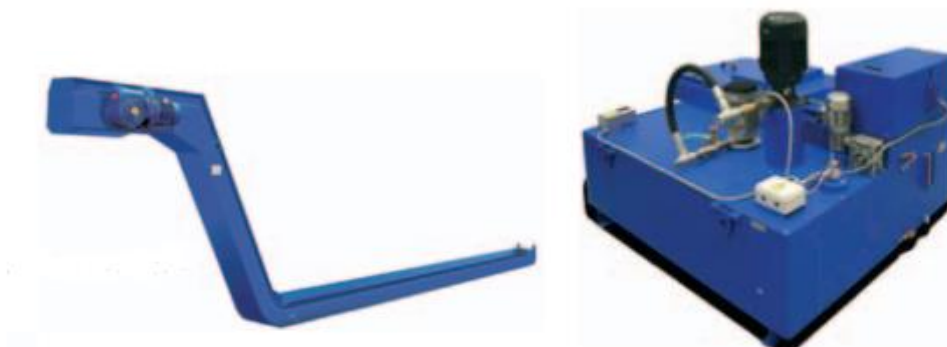
5.4 Další příslušenství

Horizontální frézovací a vyvrtávací stroje mohou být vybaveny mnoho dalšími prvky, které pomáhají v řízení stroje či udržování čistoty pracovního prostředí. Následující prvky se nechají nakonfigurovat dle požadavků zákazníka.

- Řídící systémy
- Chlazení nástroje
- Dopravník třísek
- Vodící podpěry vřetena
- Sondy
- Mazací systémy
- Hydraulické agregáty
- Upínací zařízení
- PICK UP systém



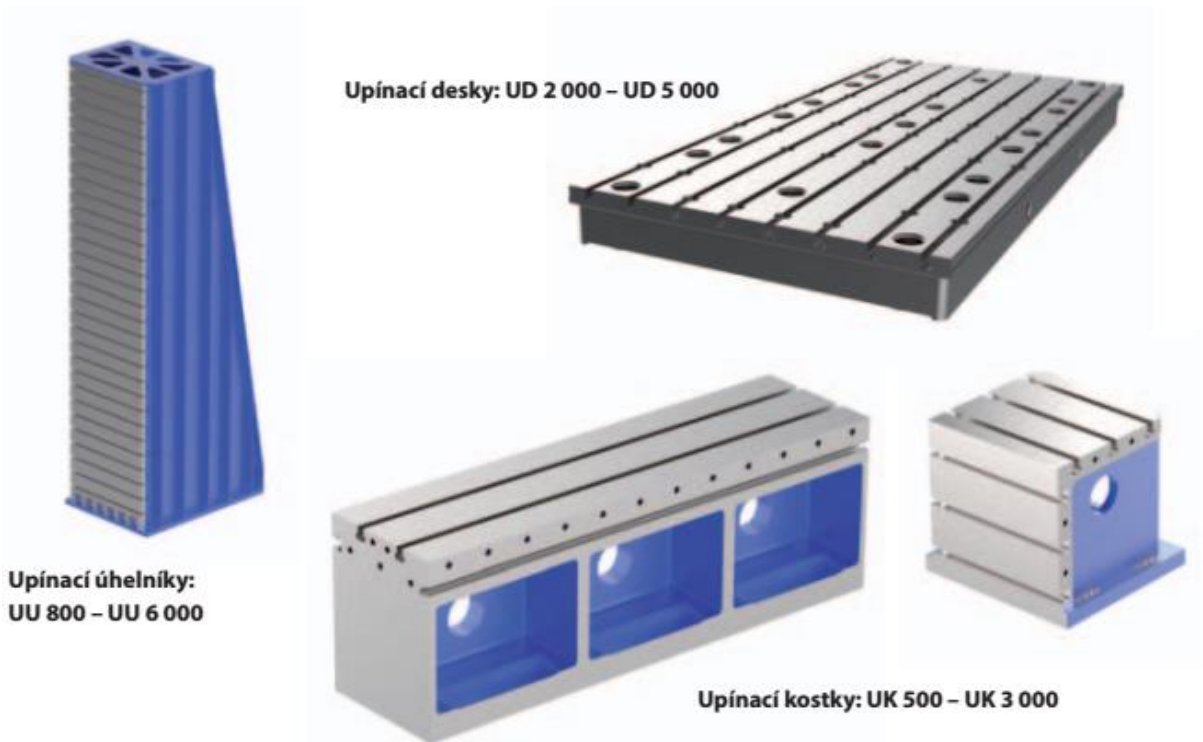
Obr. 14. Řídící systém Heidenhain [6]



Obr. 15. Dopravník třísek, Chlazení nástroje [6]



Obr. 16. Vodící podpěra vřetena, Mazací systém, Sondy [6]

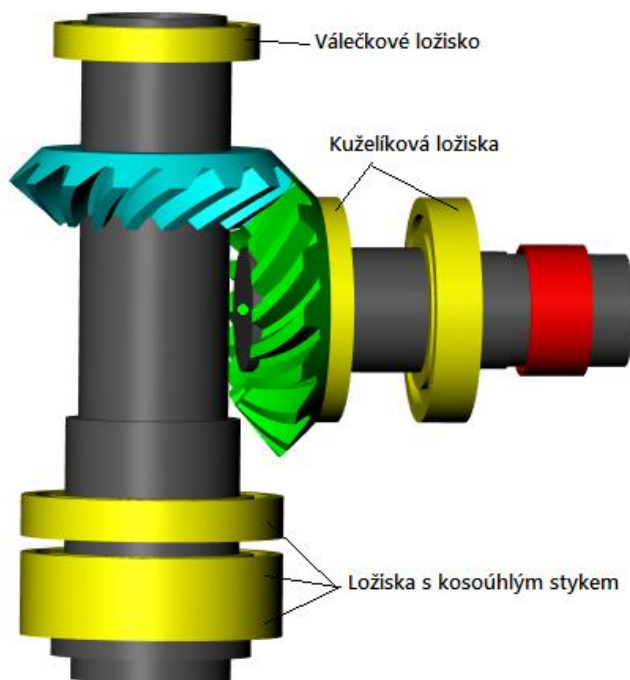


Obr. 17. Upínací zařízení [6]



Obr. 18. PICK UP systém od společnosti TOS Varnsdorf [6]

Frézovací hlava se skládá z dvou na sebe kolmých hřídelů, přičemž výstupní hřídel je Vřeteno frézovací hlavy. Vstupní hřídel je po připojení hlavy na stroj spojen s vřetenem stroje. Krouťící moment je tedy přenášen z vřetena stroje na vstupní hřídel zařízení. Pomocí kuželového soukolí s převodovým poměrem 1:1 je dále výkon přenesen na samotné vřeteno zařízení. Dále je v pevné části hlavy uložena Hirtova spojka pro umožnění natáčení frézovací hlavy. Pro provedení natočení je zapotřebí zastavit otáčení hlavy a pomocí výsuvu vřetena stroje odtlačit od sebe zuby Hirtovi spojky. Následně natočit vřeteno stroje do požadované polohy hlavy a vřeteno zasunout zpět. Hirtova spojka je poté ještě zajištěna proti rozpojení hydraulickou tlakovou kapalinou.



Obr. 21. Uložení stávajícího řešení

Uložení vstupního hřídele je provedeno na předepjatých kuželíkových ložiskách. Vřeteno je uloženo na třech předepjatých kuličkových ložiskách s kosoúhlým stykem a v horní části je ještě válečkové ložisko uložené na kuželové ploše. Kuličková předepjatá ložiska s kosoúhlým stykem zajišťují v místě nástroje optimální tuhost a tím i přesnost obrábění.

Ložiska i ozubené soukolí jsou mazána tukem. U ozubeného soukolí je zavedené domazávání.

6.1.1 Parametry stávajícího řešení hlavy IFVW 103

| Parametry | | |
|---|-------------------|-----------------|
| Výkon | kW | 67 |
| Moment | Nm | 4000 |
| Jmenovité otáčky | min ⁻¹ | 160 |
| Maximální otáčky | min ⁻¹ | 2500 |
| Převod otáček | i | 1:1 |
| Kužel vřetene | ISO | 50, 60 |
| Natáčení 1. osy | o | 0–360 (1°/2,5°) |
| Hmotnost | kg | 750 |
| Poznámky | | |
| Ozubená kola mazána tukem s domazáváním, ložiska mazaná tukem | | |

Tabulka 8. Parametry stávajícího řešení IFVW 103

6.2 Požadavky na změnu

| Stávající řešení | | | Požadované změny | | |
|---|-------------------|-----------------|---|-------------------|-----------------|
| Výkon | kW | 67 | Výkon | kW | 67 |
| Moment | Nm | 4000 | Moment | Nm | 4000 |
| Jmenovité otáčky | min ⁻¹ | 160 | Jmenovité otáčky | min ⁻¹ | 160 |
| Maximální otáčky | min ⁻¹ | 2500 | Maximální otáčky | min ⁻¹ | 3000 |
| Převod otáček | i | 1:1 | Převod otáček | i | 1:1 |
| Kužel vřetene | ISO | 50, 60 | Kužel vřetene | ISO | 50, 60 |
| Natáčení 1. osy | o | 0–360 (1°/2,5°) | Natáčení 1. osy | o | 0–360 (1°/2,5°) |
| Hmotnost | kg | 750 | Hmotnost | kg | 750 |
| Poznámky | | | Poznámky | | |
| Ozubená kola mazána tukem s domazáváním, ložiska mazaná tukem | | | Zavést mazání ozubených kol olejem | | |
| | | | Rozhodnout o metodě mazání ložisek | | |
| | | | Zajistit temperování tělesa hlavy | | |

Tabulka 9. Požadavky na změnu

Stávající řešení provedení mazacího systému především mazání ozubených kol tukem neodpovídá dnešním standardům. Toto řešení omezuje hodnotu maximálních otáček. Způsobuje nepříznivý nárůst teploty zařízení. Dále nepříznivě ovlivňuje hlučnost a opotřebení ozubeného soukolí. Způsobuje také vyšší výkonové ztráty než mazání olejem.

Nevýhodou olejového mazání je naopak například jeho těžká udržitelnost v místě potřeby. Nabízejí se, ale i modernější metody mazání olejem, které si uvedeme v následující kapitole, zajišťující lepší ochlazování tělesa a aplikaci v místě potřeby.

Temperování tělesa hlavy chceme zajistit z důvodu vyšší možné přesnosti během obráběcího procesu a delší dosažené životnosti ložisek.

7 Metody mazání

Mazání zavádíme u strojních součástí, především u vzájemně se pohybujících, hned z několika důvodů. Nejhlavnějším je omezení tření mezi povrchy, zvýšení účinnosti a omezení otěru. Dalšími funkcemi mohou být dále například odvod tepla, zabránění korozi nebo rozpouštění a přenos nečistot. Je několik metod mazání, základní z nich budou popsány v následujících kapitolách.

| No. | Lubrication | Range of tangential speed v (m/s) | | | | | |
|-----|------------------------------------|-------------------------------------|----|----|----|----|----|
| | | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| 1 | Grease lubrication | ←→ | | | | | |
| 2 | Splash lubrication | | ←→ | | | | |
| 3 | Forced oil circulation lubrication | | | ←→ | | | |

Obr. 22. Rozsah obvodových rychlostí v závislosti na potřebné metodě mazání [10]

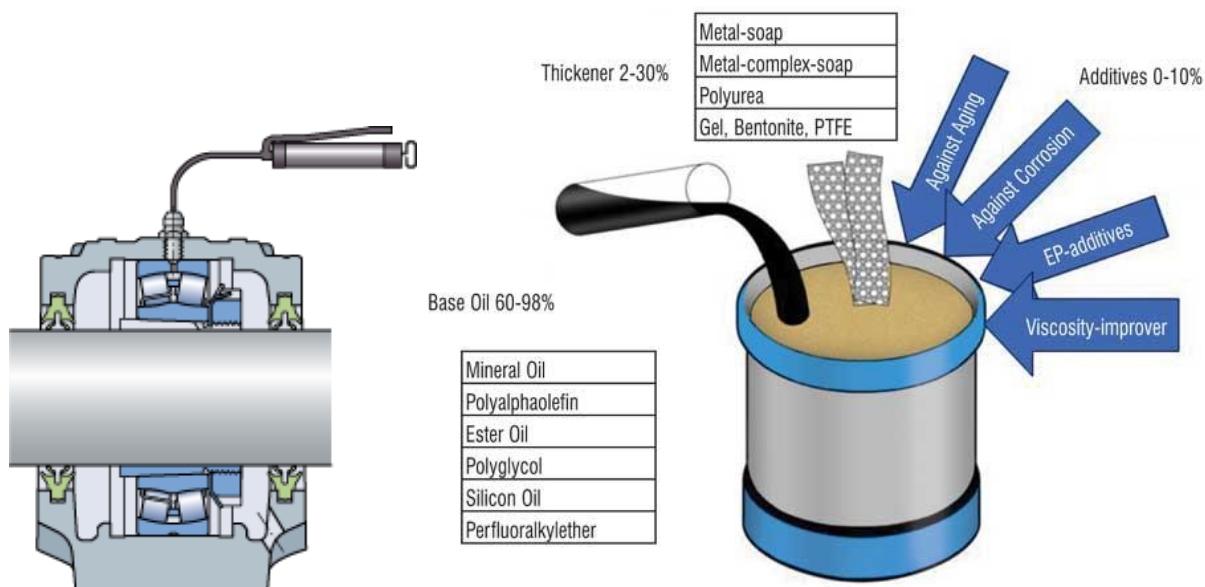
Obr. 22. Rozsah obvodových rychlostí v závislosti na potřebné metodě mazání znázorňuje do jakých přibližných obvodových rychlostí lze použít dané metody mazání. Tyto hodnoty se týkají ozubených kol s přímými a šikmými zuby a kuželových soukolí.

- Mazání tukem 0-5 m/s
- Olejová lázeň 4-15 m/s
- Nucená olejová cirkulace 13-30 m/s

7.1 Plastické mazivo (Tuk)

Za normálních provozních podmínek se používá plastické mazivo pro mazání valivých ložisek ve většině uložení. Ve srovnání s olejem má plastické mazivo tu výhodu, že se lépe udrží v uložení, především v uloženích se šikmou nebo svislou hřídelí, a dále přispívá k utěsnění uložení proti vniknutí nečistot, vlhkosti nebo vody [11].

Mazání tukem u ozubeného soukolí není tak často používáno, pouze v případech nízkých otáček, a když je olejové mazivo těžko udržitelné v místě potřeby (Otevřené ozubené soukolí).



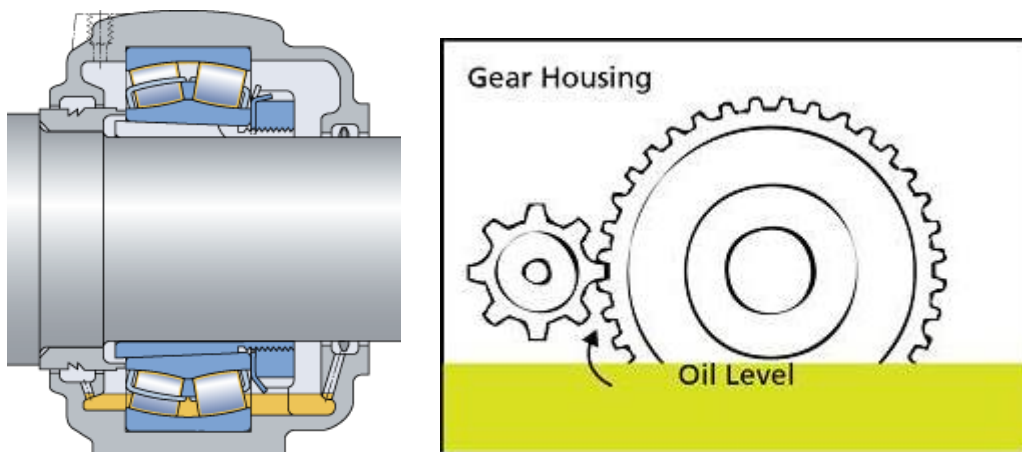
Obr. 23. Způsob domazávání [11], Složení mazacího tuku [12]

Mazací tuk je složen především z oleje. Jsou do něj přidány tužidla pro vyšší viskozitu a různá aditiva pro zlepšení vlastností.

Valivá ložiska musí být domazávána v případě, že životnost použitého plastického maziva může být kratší než předpokládaná provozní trvanlivost ložiska. Ložisko je nutno domazat již tehdy, když je ještě mazání ložiska uspokojivě zajištěno. Délku domazávacího intervalu ovlivňuje mnoho činitelů, jejichž vzájemná závislost je velmi složitá. Jedná se především o typ a velikost ložiska, otáčky, provozní teplotu, druh plastického maziva, prostor v uložení a okolní podmínky. [11]

7.2 Olejová lázeň

Mazání valivých ložisek olejem je v zásadě zvoleno tehdy, když z důvodů vysokých otáček či vysokých provozních teplot nelze použít mazání plastickým mazivem anebo když teplo vyvolané třením nebo vnějším zdrojem je třeba odvést z uložení, popř. když související díly (ozubená kola apod.) jsou mazány olejem [11].

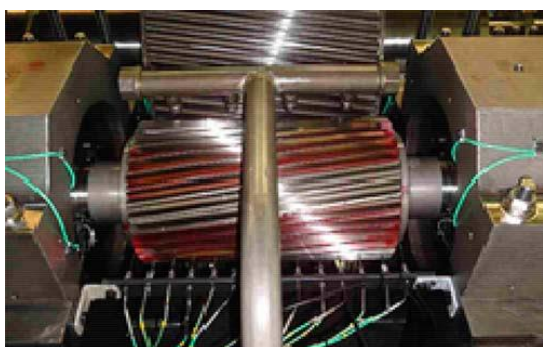


Obr. 24. Mazání olejovou lázní ložiska / ozubeného soukolí [11]

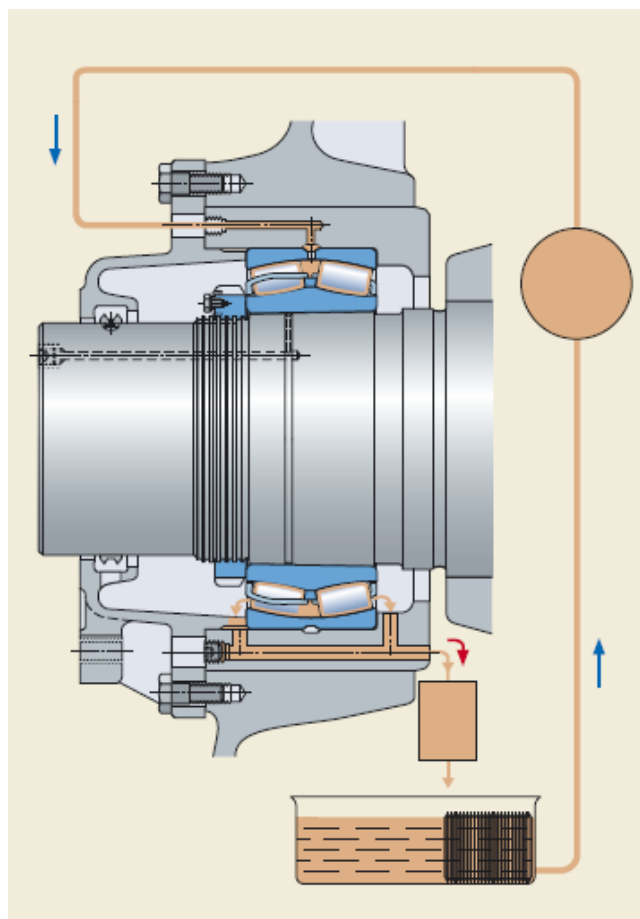
Mazání ložisek v olejové lázni spočívá v ponoření ložiska po určitou hodnotu do maziva. Jak se ložisko otáčí, tak samovolně roznáší olej na všechny své segmenty. U ozubeného soukolí je princip obdobný. Část kola je ponořena v oleji a zuby je přinášen olej do místa záběru.

7.3 Olejová cirkulace

Provoz při vysokých otáčkách vyvolá nárůst provozní teploty a urychluje stárnutí oleje. Mazání s nuceným oběhem oleje je vždy určeno pro uložení, v nichž nemá být olej často vyměňován, avšak musí být zajištěn přívod oleje do uložení. Oběh oleje zpravidla zajišťuje čerpadlo. Jakmile olej projde ložiskem, vrátí se do nádrže, v níž je přefiltrován a podle potřeby ochlazen, než se vrátí do ložiska. Správné filtrování se projeví vysokými hodnotami součinitele η_c , a tedy přispívá k dlouhé provozní trvanlivosti ložiska. Chlazení oleje umožňuje udržovat nízkou provozní teplotu ložiska [11].



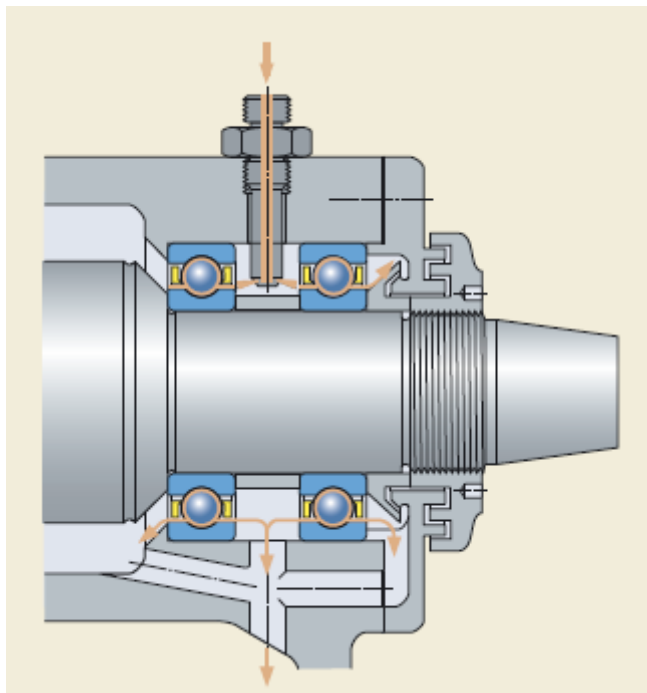
Obr. 26. Přívod oleje do místa záběru ozubených kol



Obr. 25. Schéma cirkulace u dvouřadého soudečkového ložiska [11]

7.4 Vstřikování oleje

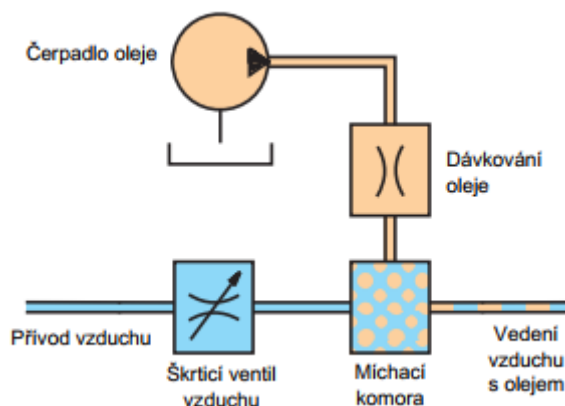
Při velmi vysokých otáčkách musí být do ložiska přiváděno dostatečné, avšak nikoli nadměrné množství oleje, které zajistí správné mazání bez zbytečného zvýšení provozní teploty. Obzvláště účinný způsob mazání představuje přímý vstřik oleje do ložiska, kdy je paprsek oleje pod vysokým tlakem nasměrován ze strany do ložiska. Rychlost paprsku musí být natolik vysoká (min 15 m/s), aby alespoň část oleje pronikla vzduchovými víry vyvolanými rotujícím ložiskem [11].



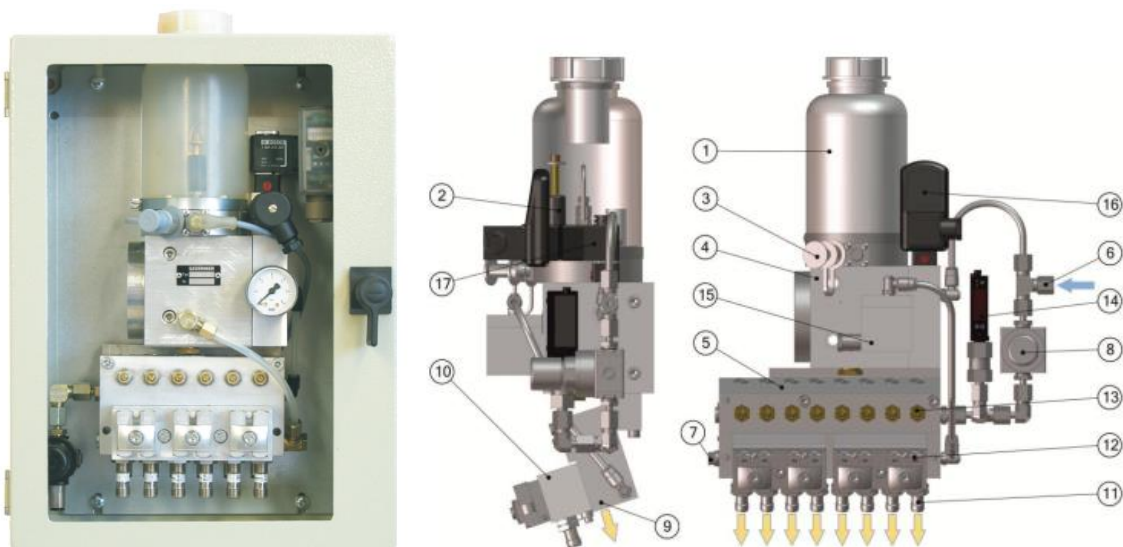
Obr. 27. Vstřikování oleje [11]

7.5 Olej + vzduch

Olej + vzduch je poměrně moderní způsob mazání ložisek, ozubených kol, vodících lišt či nástrojů. Princip spočívá ve stálém přívodu vzduchu do dané součásti k promazávání. V určitých intervalech je zařízením do tlakového vzduchu přiváděno dané určité množství oleje, který je dále nesen potrubím. V místě mazání se rozptýlí olejové kapky do tenkého filmu maziva. Do místa mazání se tak plynule dostává minimální potřebné množství maziva. Vzduch poté opouští místo mazání a tím také zamezuje vnikání nečistot.



Obr. 28. Schéma mazacího systému Olej + vzduch [13]



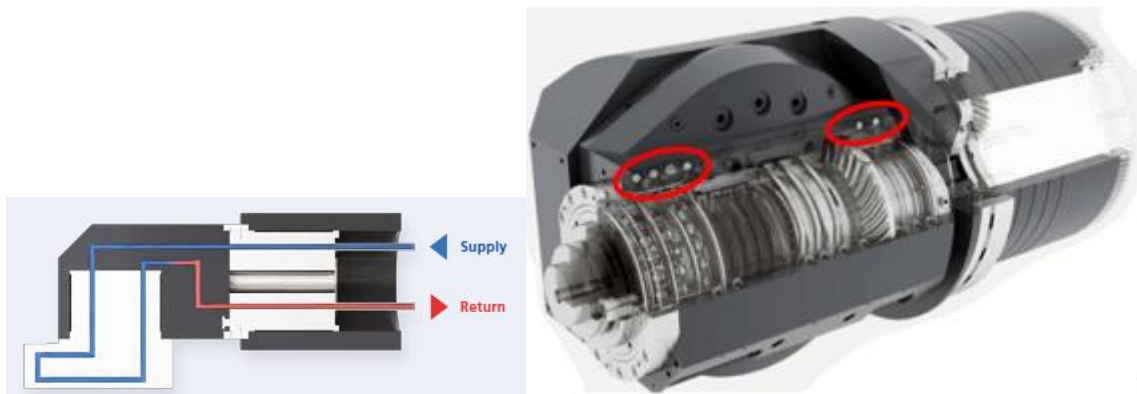
Obr. 29. Reálné mazací zařízení od firmy Woerner [13]

Na Obr. 29 je vidět zařízení pro mazání vzduch + olej od firmy Woerner. Skládá se z těchto komponent [13]:

1. Zásobník
2. Hladinový spínač
3. Plnicí přívod
4. Čerpadlo
5. OL rozvaděč s jedním vedením VOE-D
6. Přívod vzduchu G1/8
7. Odvzdušňovací šroub
8. Regulátor tlaku
9. Výstup G1/8
10. Průhledný díl pro optickou kontrolu průtoku
11. Iniciátor pro kontrolu průtoku
12. Dávkovací člen DEB
13. Škrticí ventil vzduchu
14. Manometr pro zobrazení tlaku vzduchu
15. Tlakový spínač pro kontrolu tlaku vzduchu
16. Časovač
17. 3/2-cestný ventil
18. Míchací komora
19. Indikační čep

8 Metody chlazení tělesa frézovací hlavy

Těleso frézovací hlavy je dobré chladit kvůli tomu, aby při vysokých otáčkách nedošlo k přehřátí zařízení a tím pádem i k jeho nucenému odstavení. Odvádění tepla je potřebné především v oblasti uložení vřetena. Nejvíce zatěžovaná je spodní oblast vřetene, kde je teplo generováno ložisky a také se může promítnout oteplení od nástroje. Dalšími výhodami chlazení jsou vyšší možná dosažená přesnost při obrábění a vyšší dosažená životnost ložisek.



Obr. 30. Schéma chlazení, Znáznornění vyvrtaných otvorů pro chlazení [7]

Z Obr. 30. Schéma chlazení lze vidět řešení u frézovací hlavy společnosti SHW Werkzeugmaschinen. Chladicí medium je přivedeno do zařízení z pinoly stroje. Poté je kapalina provedena celým tělesem pomocí systému vyvrtaných otvorů a odvedena pryč ze zařízení opět pinolou stroje.

V pravé části Obr. 30. Schéma chlazení jsou vidět reálně kanálky pro chladicí kapalinu

PRAKTICKÁ ČÁST

9 Návrh variant možného řešení

Ze zmíněných možností mazání nám vznikne několik variant kombinací systémů mazání ozubených kol a ložisek. U těchto variant bude potřeba rozhodnout, zda jsou na tuto aplikaci vhodné či nikoli.

| Varianty | Způsob mazání | | Výpočty / Poznámky |
|----------|----------------|----------------|-----------------------------------|
| | Ložiska | Ozubená kola | |
| 1. | Olej lázeň | Olej lázeň | Teplotní stálost ložiska, hladina |
| 2. | Tuk | Olej cirkulace | Teplotní stálost ložiska, odtok |
| 3. | Olej cirkulace | Olej cirkulace | Teplotní stálost ložiska, odtok |
| 4. | Tuk | Olej + vzduch | Teplotní stálost ložiska, odfuk |
| 5. | Olej + vzduch | Olej + vzduch | Teplotní stálost ložiska, odfuk |

Tabulka 10. Navrhnuté varianty řešení

10 Pevnostní výpočty

K výpočtům uložení a pevnostní kontrole vřetena a pastorku byl použit program KISSsys a KISSsoft. V následujících kapitolách budou uvedeny rozměry vřetena a pastorku, které vychází ze stávajícího řešení. Ověříme součásti z pevnostního hlediska a uložení na požadovanou životnost 4000 hodin.

10.1 Zatížení frézovací hlavy

Ztěžující stavy vycházejí z nejnáročnějších obráběcích operací, které je možné s frézovací hlavou provádět. To zejména obrábění plných rovinných ploch při velkém úběru materiálu, které zatíží frézovací hlavu po stránce pevnosti a únosnosti. Pak také stav při maximálních otáčkách, který bude zatěžovat ložiska z hlediska teplotní stálosti. K determinaci zátěžných stavů byl použit online program Tool Guide od Sandvik Coromant.

| Zátěžný stav | Doba běhu | Krouticí moment | Otáčky | Radiální síla | Axiální síla | Obvodová síla |
|--------------|-----------|-----------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | q [%] | M [Nm] | n [min ⁻¹] | F _r [N] | F _a [N] | F _o [N] |
| 1. | 0,2 | 4000 | 160 | -32000 | 24000 | -40000 |
| 2. | 0,5 | 2647 | 242 | -21176 | 15882 | -26470 |
| 3. | 0,3 | 18 | 3000 | -1252 | 939 | -1565 |

Tabulka 11. Zátěžné stavy

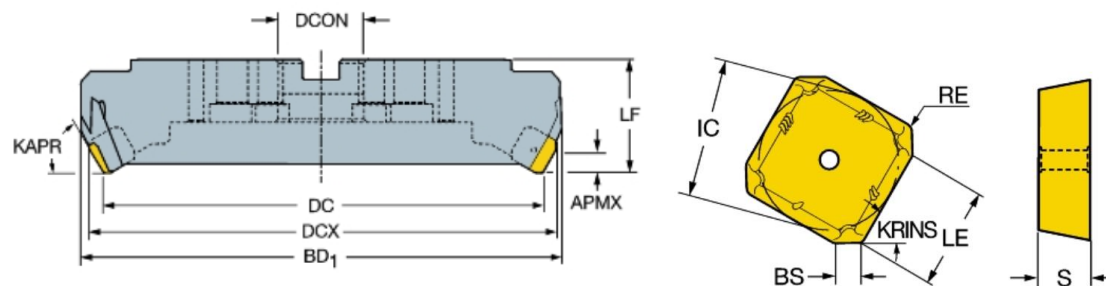
10.1.1 První zátěžný stav

Vyplývá ze zadání a byl určen zadavatelem. Při tomto stavu je hlava namáhána především kroutícím momentem a za nižších otáček.

10.1.2 Druhý zátěžný stav

Druhý stav je obdobou prvního zátěžného stavu s tím že se pohybujeme na vyšších otáčkách. Zatěžovací stav vychází z obrábění rovinné plochy čelní frézou o průměru DC= 200 mm s

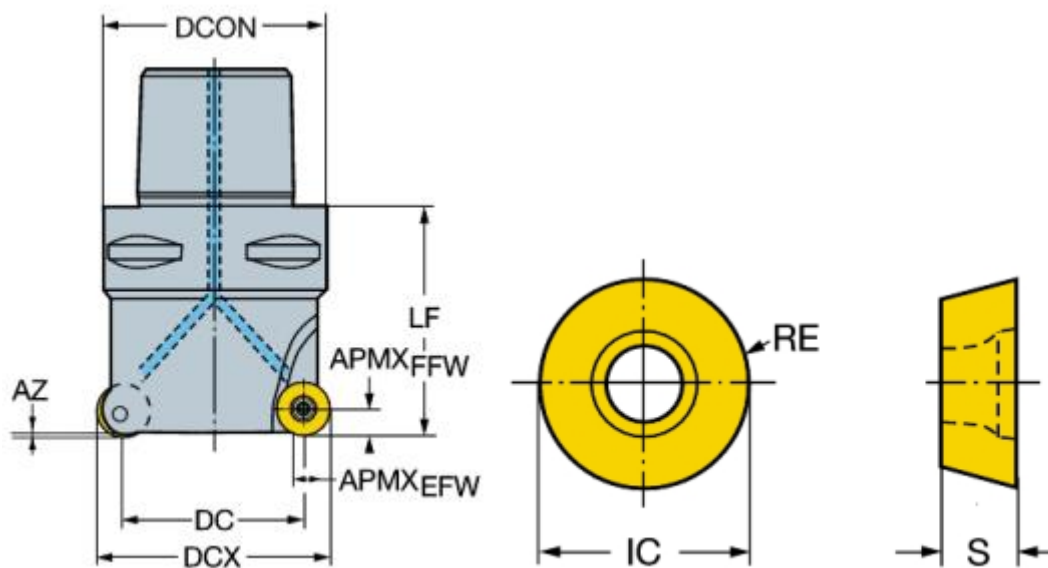
označením 360-200Q60-Z10E19 s břitovými destičkami s označením 360R-19 06M-PH 4230. Veškeré rozměry a řezné podmínky jsou k nalezení v Příloze č. 3.



Obr. 31. Řezné tělo s břitovou destičkou pro 2. řezný stav

10.1.3 Třetí zátěžný stav

Třetí zátěžný stav je kontrolou maximálních otáček. Od zadavatele je požadavek dosáhnout otáček $n = 3000 \text{ min}^{-1}$. Tato situace bude nastávat při obrábění s malým průměrem nástroje. V našem případě čelní fréza o průměru $DC = 23 \text{ mm}$ s označením R300-035C3-12H s řeznými destičkami R300-1240M-PH 4230. Veškeré rozměry a řezné podmínky jsou k nalezení v Příloze č. 3.

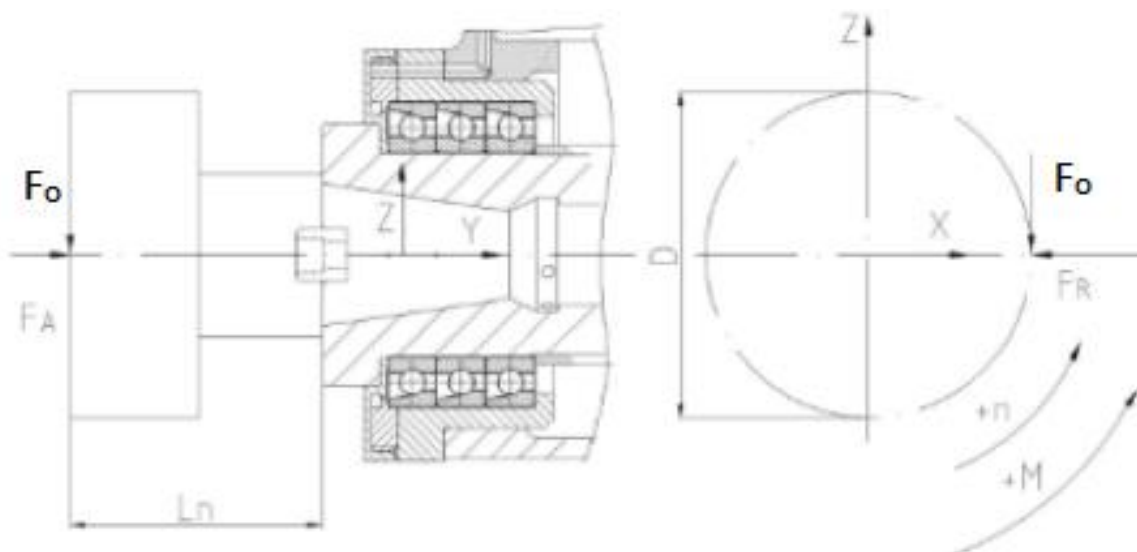


Obr. 32. Řezné tělo s břitovou destičkou pro 3. řezný stav

10.1.4 Výpočet řezných sil

Výpočet vychází z následujících vzorců při jednotlivých stavech:

| | |
|---|--------------------------------|
| $i := 1 \dots 3$ | ... Indexování |
| $M := \begin{bmatrix} 4000 \\ 2647 \\ 18 \end{bmatrix} \text{ N}\cdot\text{m}$ | ... Krouťicí moment |
| $D := \begin{bmatrix} 200 \\ 200 \\ 23 \end{bmatrix} \text{ mm}$ | ... Průměr nástroje |
| $F_{O_i} := \frac{2 \cdot M_i}{D_i} = \begin{bmatrix} 40000 \\ 26470 \\ 1565.217 \end{bmatrix} \text{ N}$ | ... Obvodová složka řezné síly |
| $F_{R_i} := 0.8 \cdot F_{O_i} = \begin{bmatrix} 32000 \\ 21176 \\ 1252.174 \end{bmatrix} \text{ N}$ | ... Radiální složka řezné síly |
| $F_{A_i} := 0.6 \cdot F_{O_i} = \begin{bmatrix} 24000 \\ 15882 \\ 939.13 \end{bmatrix} \text{ N}$ | ... Axialní složka řezné síly |

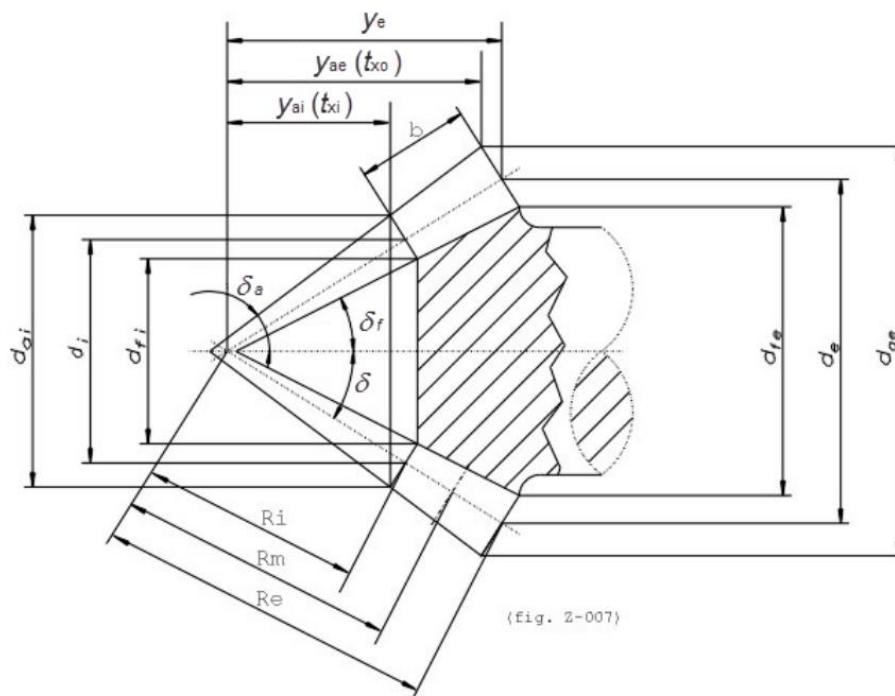


Obr. 33. Zatížení vřetene při frézování pravou čelní frézou

10.2 Kuželové soukolí

Zadané hodnoty

Soukolí je navrženo na převodový poměr $i = 1$. Rozměry vychází ze stávajícího řešení. Jsou použity zuby vyráběny metodou Klingelnberg.



Obr. 34. Rozměry ozubeného soukolí

| | Pastorek (Gear 1) | Kolo (Gear 2) |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Modul m_{mn} [mm] | 8,9546 | 8,9546 |
| Roztečný průměr d_e [mm] | 220 | 220 |
| Počet zubů m | 16 | 16 |
| Šířka ozubení b [mm] | 54 | 54 |
| Směr spirálového zatočení zubů | Pravé | Levé |
| Úhel spirálového zatočení zubů β_m [°] | 38 | 38 |
| Jednotkové posunutí | 0 | 0 |
| Materiál | 1.6587 (ekvivalent k ČSN 16 343) | 1.6587 (ekvivalent k ČSN 16 343) |
| σ_a [°] | 0 (konstantní tloušťka zubu) | 0 (konstantní tloušťka zubu) |

Tabulka 12. Parametry ozubení

Hodnoty vypočtené se zátěžovým spektrem

Soukolí spočteme jak při mazání tukem, tak při mazání systémem olej + vzduch.

| Výsledky pro soukolí mazané tukem (současné řešení) | Pastorek | | Kolo | |
|---|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | Bezpečnost v kořeni zubu | Bezpečnost na boku zubu | Bezpečnost v kořeni zubu | Bezpečnost na boku zubu |
| | SF1 | SH1 | SF2 | SH2 |
| 1. stav | 1.475 | 1.311 | 1.475 | 1.311 |
| 2. stav | 2.226 | 1.466 | 2.226 | 1.466 |
| 3. stav | 145.682 | 12.144 | 145.682 | 12.144 |
| Výsledky s ohledem na spektrální zatížení | 1.476 | 1.31 | 1.476 | 1.31 |
| Požadované hodnoty bezpečností | 1.4 | 1.0 | 1.4 | 1.0 |
| Výsledky pro soukolí mazané systémem olej + vzduch | Pastorek | | Kolo | |
| | Bezpečnost v kořeni zubu | Bezpečnost na boku zubu | Bezpečnost v kořeni zubu | Bezpečnost na boku zubu |
| | SF1 | SH1 | SF2 | SH2 |
| 1. stav | 1.475 | 1.346 | 1.475 | 1.346 |
| 2. stav | 2.226 | 1.505 | 2.226 | 1.505 |
| 3. stav | 145.682 | 12.468 | 145.682 | 12.468 |
| Výsledky s ohledem na spektrální zatížení | 1.476 | 1.345 | 1.476 | 1.345 |
| Požadované hodnoty bezpečností | 1.4 | 1.0 | 1.4 | 1.0 |

Tabulka 13. Vypočtené hodnoty ozubení

Z Tabulka 13 je patrné, že bezpečnosti na boku zubu vycházejí lépe při mazání systémem olej + vzduch. Z tohoto důvodu byl požadavek na přechod mazání ozubených kol olejem. Zvýší to jejich životnost. Směrodatné výsledky jsou tedy výsledky pro systém olej + vzduch a ty také vyhovují minimálním požadovaným hodnotám. Podrobný výpis výpočtu je k nalezení v Příloze č. 1.

Použitá media pro výpočet:

Tuk: ISOELEX TOPAS NCA 51

$v = 31 \text{ mm}^2/\text{s}$... Kinematická viskozita při 40 °C

Olej: KLÜBEROIL GEM 1-68

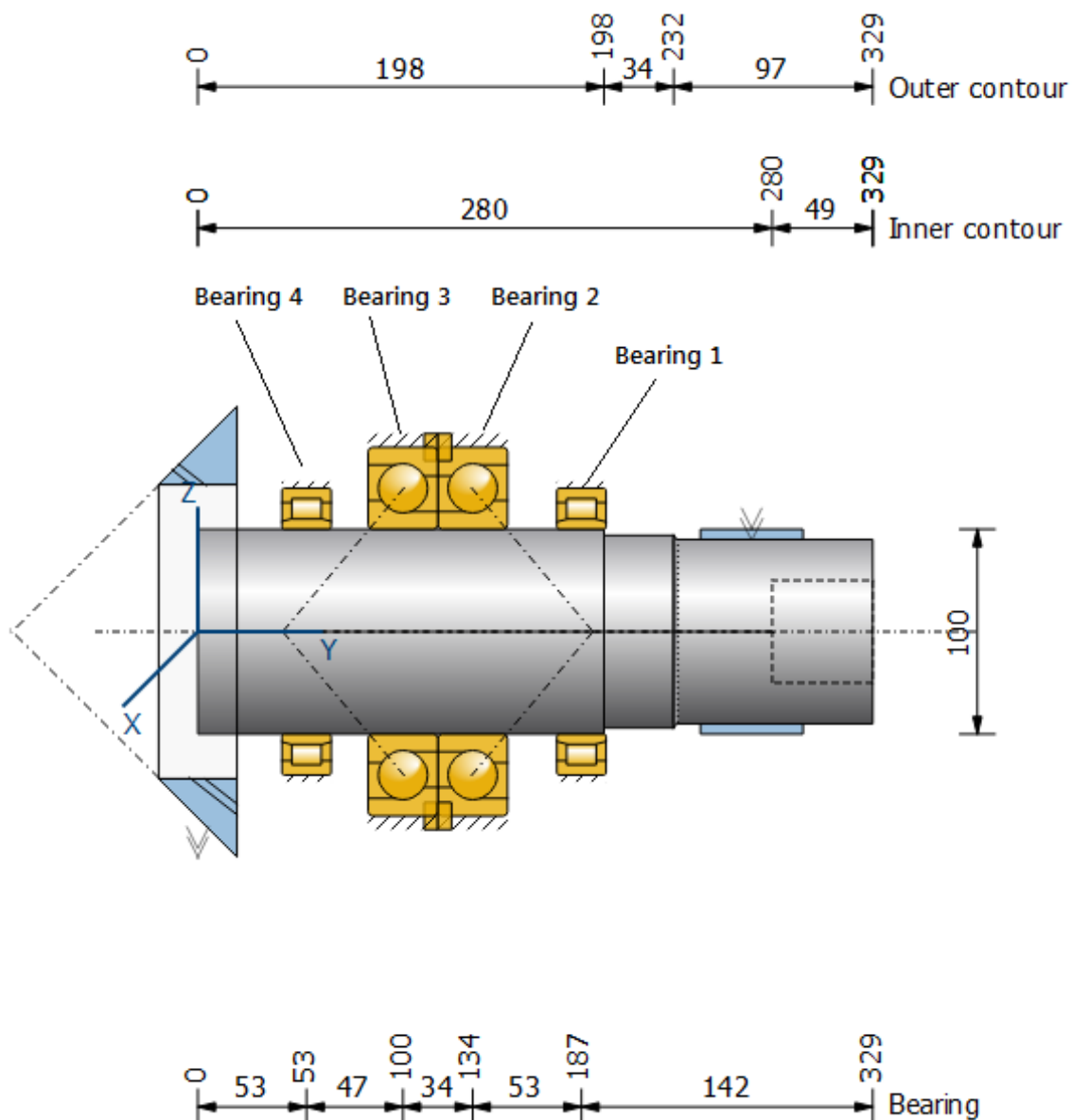
$v = 68 \text{ mm}^2/\text{s}$... Kinematická viskozita při 40 °C

10.3 Uložení pastorku

Zadané hodnoty

Pastorek bude zatížen od sil z ozubení a bude přenášet potřebný kroučící moment. Zátěžné momenty vyplývají z Tabulka 11.

Uložení je provedeno na dvou válečkových ložiskách FAG NU 1020-XL-M1 ($d = 100$ mm, $D = 150$ mm, $B = 24$ mm). Axiální posunutí je zajištěno dvěma kuličkovými ložisky s kosoúhlým stykem SKF 7220 BECBY ($d = 100$ mm, $D = 180$ mm, $B = 34$ mm). Ložiska s kosoúhlým stykem pomohou také zachytit radiální síly.



Obr. 35. Parametry pastorku

Vypočtené hodnoty

Z daného zatížení spočteme síly působící na ložiska, z kterých vypočteme životnost L_h a statickou bezpečnost S_0 . Tento krok provedeme za pomoci programu KISSsys a KISSsoft.

| | Radiální síla ve směru x | Axiální síla | Radiální síla ve směru z |
|--|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|
| | F_x [N] | F_y [N] | F_z [N] |
| Válečkové ložisko (Bearing1) | | | |
| 1. stav | -19691.1 | 0 | -9398.3 |
| 2. stav | -11360.3 | 0 | -5317.4 |
| 3. stav | 0 | 0 | 0 |
| Kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem (Bearing2) | | | |
| 1. stav | -6844.6 | -7351.2 | -3611.7 |
| 2. stav | -6123.3 | -6663 | -3200.8 |
| 3. stav | -116.6 | -131.2 | -53.9 |
| Kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem (Bearing3) | | | |
| 1. stav | 20946 | 46027.4 | 31274.8 |
| 2. stav | 15207.7 | 32258.1 | 22575.6 |
| 3. stav | 161.3 | 305.2 | 251.9 |
| Válečkové ložisko (Bearing4) | | | |
| 1. stav | 15529.9 | 0 | 25736.2 |
| 2. stav | 8852.8 | 0 | 15060.1 |
| 3. stav | 0 | 0 | 0 |

Tabulka 14. Reakce ložisek na pastorku

Ze zatěžujících sil F_x a F_z se spočte celková radiální síla F_r . Axiální síla $F_y = F_a$. Z těchto dvou parametrů se ložisko zkontroluje na životnost L_h a minimální statickou únosnost C_o .

Výpočet byl proveden opět za pomoci softwaru KISSsoft.

| | Životnost | Statická bezpečnost |
|--|-------------|---------------------|
| Válečkové ložisko (Bearing1) | L_h [hod] | S_o [-] |
| 1. stav | 27320 | 6.187 |
| 2. stav | 114341 | 10.763 |
| 3. stav | 1000000 | 9999.99 |
| Výsledek se spektrem | 83378 | 6.187 |
| Kuličkové ložisko s kosouhlým stykem (Bearing2) | | |
| 1. stav | 552923 | 15.764 |
| 2. stav | 513697 | 17.657 |
| 3. stav | 1000000 | 950.013 |
| Výsledek se spektrem | 611602 | 15.764 |
| Kuličkové ložisko s kosouhlým stykem (Bearing3) | | |
| 1. stav | 4187 | 3.241 |
| 2. stav | 7790 | 4.482 |
| 3. stav | 1000000 | 407.868 |
| Výsledek se spektrem | 8909 | 3.241 |
| Válečkové ložisko (Bearing4) | | |
| 1. stav | 9390 | 4.491 |
| 2. stav | 37900 | 7.728 |
| 3. stav | 1000000 | 9999.99 |
| Výsledek se spektrem | 28743 | 4.491 |
| Požadované hodnoty | 4000 | 3 |

Tabulka 15. Vypočtené hodnoty životností a statických bezpečností na pastorku

Závěr

Z pevnostního i životnostního hlediska uložení požadované hodnoty splňuje.

10.3.1 Teplotně stálé otáčky

Ze zadání vyplývá požadavek na maximální otáčky 3000 ot/min. Proto je nutné zkontrolovat teplotně stálé otáčky pro tento zátěžový stav a zkontrolovat, zdali jsou všechna použitá ložiska schopná dosáhnout 3000 ot/min při teplotní stálosti pro různé způsoby mazání.

Výpočet teplotně stálých otáček vychází z normy DIN 732. Výpočet je založen na základě rovnováhy teplot na ložisku. Teplotně stálé otáčky n_{θ} jsou odvozeny z Teplotně referenčních otáček $n_{\theta R}$ za použití Rychlostního poměru f_n .

Teplotně referenční otáčky $n_{\theta R}$ se vypočtou na základě normy DIN ISO 15312. Teplotně referenční otáčky jsou takové otáčky, při kterých je dosaženo rovnováhy mezi teplem přiváděným (tření) a teplem odváděným (skrz kontaktní plochy ložiska a mazivem). Mechanická ani kinematická kritéria nejsou brána v úvahu. Referenční hodnoty jako teploty, síly, viskozita maziva, kontaktní plochy ložiska jsou pevně daná.

$$NFr = 10^3 \cdot Qr \quad (1)$$

NFr Teplotně způsobené třením (Friction power) [W]

Qr Odvedené teplo (Dissipated heat flow) [kW]

Rovnice (1) přechází v:

$$\frac{\pi \cdot n\theta r}{30} \cdot \left(10^{-7} \cdot f0r \cdot (vr * n\theta r)^{\frac{2}{3}} \cdot dm^3 + f1r \cdot P1r \cdot dm \right) = qr \cdot ASr \quad (2)$$

nθr Teplotně referenční otáčky (thermal reference speed) [1/min]

f0r koeficient dle Tabulka 16 dle DIN ISO 15312

r Viskozita maziva (Reference viscosity) [mm²/s]

dm Střední průměr ložiska (average rolling bearing diameter) [mm]

f1r koeficient z Tabulka 16 dle DIN ISO 15312

P1r: Zatížení (Reference load) [N]

qr Jednotkový tepelný tok (Rolling bearing-specific reference heat flow density (bearing contact, lubricant)) [kW/m²]

ASr Kontaktní plocha ložiska (Reference surface area dissipating heat) [mm²]

| | f0r (tabulková hodnota) | f1r |
|---------------------------|-------------------------|---------|
| Kuličkové ložisko | 1.7 | 0.00015 |
| Válečkové ložisko | 3 | 0.0003 |
| Axiální kuličkové ložisko | 1.7 | 0.00015 |
| Axiální válečkové ložisko | 3.5 | 0.0015 |

Tabulka 16. Hodnoty koeficientů f0r a f1r

Z rovnice (2) již dokážeme zjistit nθr.

Teplotně stálé otáčky se poté vypočtou vzorcem:

$$n\theta = fn \cdot n\theta r$$

nθ Teplotně stálé otáčky [ot/min]

fn Rychlostní poměr [-]...Zjistí se iteračně pomocí dalších koeficientů z normy.

nθr Teplotně referenční otáčky [ot/min]

Všechny tyto výpočty byly provedeny v programu KISSsoft a výsledné hodnoty jsou k vidění v následující tabulce. Teplotně stálé otáčky byly spočteny jak pro mazání tukem, tak pro mazáním systémem olej + vzduch. Další podrobnosti jsou k nalezení v Příloze č. 2.

| | Teplotně stálé otáčky $n\theta$ [ot/min] | |
|--|--|----------------------|
| | Mazání tukem | Mazání olej + vzduch |
| Válečkové ložisko (Bearing1) | 6588.243 | 7026.655 |
| Kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem (Bearing2) | 7164.310 | 6003.823 |
| Kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem (Bearing3) | 7164.310 | 5965.337 |
| Válečkové ložisko (Bearing4) | 3325.266 | 3546.469 |

Tabulka 17. Teplotně stálé otáčky u ložisek na pastorku

Použité maziva:

Tuk: KLÜBER quiet BQ 42-32

$\nu = 25 \text{ mm}^2/\text{s}$... Kinematická viskozita při 40 °C

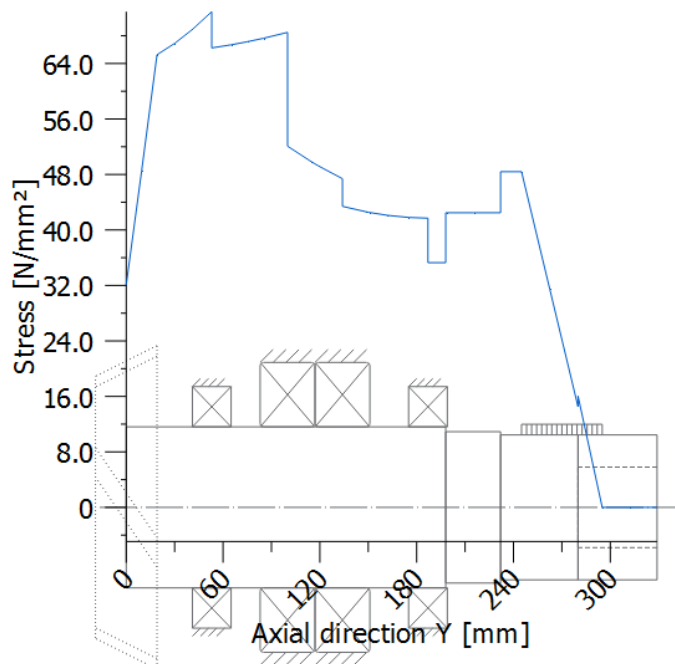
Olej: KLÜBEROIL GEM 1-68

$\nu = 68 \text{ mm}^2/\text{s}$... Kinematická viskozita při 40 °C

Výpočet ověřil, že všechna ložiska mají teplotně stálé otáčky vyšší než požadovaných 3000 ot/min a z tohoto hlediska vyhovují.

10.4 Pevnostní kontrola pastorku

Z průběhu napětí na pastorku vybereme kritickou hodnotu zkontrolujeme, zdali nepřekročí mez kluzu materiálu pastorku.



Obr. 36. Průběh redukovaného napětí na Pastorku dle von Mises $\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2}$

$$\sigma_{red_max} = 71,47 \text{ MPa}$$

Materiál Pastorku 1.6587 (ekvivalent k ČSN 16 343) $\Rightarrow R_e = 490 \text{ MPa}$

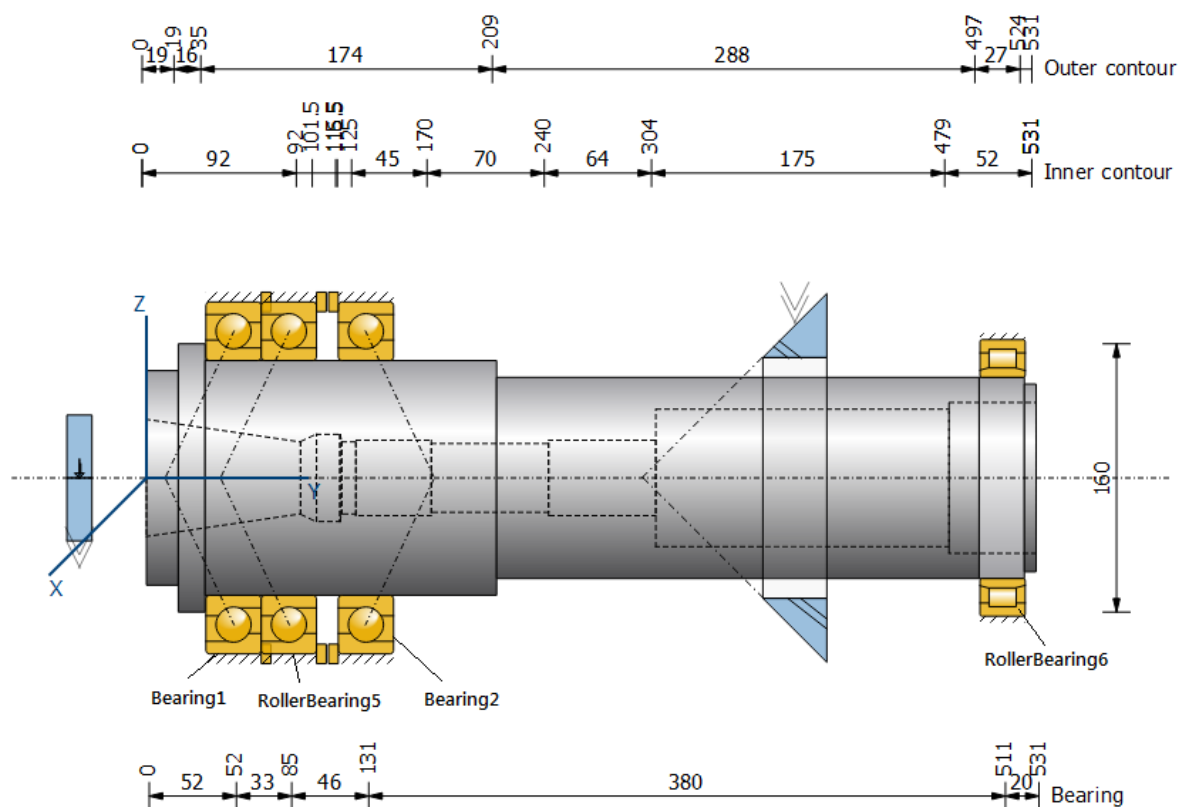
$$s = \frac{R_e}{\sigma_{red_max}} = \frac{490}{71,47} = 6,8$$

Pastorek **vyhovuje** s vysokou bezpečností $s = 6,8$.

10.5 Uložení vřetene

Vřeteno je uloženo na 3 ložiskách s kosoúhlým stykem (SKF 7028 ACD/HCP4A $d = 140 \text{ mm}$, $D = 210 \text{ mm}$, $B = 33 \text{ mm}$) v blízkosti místa upínání nástroje. To zajišťuje optimální tuhost. V pravé části je podepřeno válečkovým ložiskem (SKF NJ 1024 ML $d = 120 \text{ mm}$, $D = 180 \text{ mm}$, $B = 28 \text{ mm}$), které zachycuje síly od ozubeného kola. Válečkové ložisko je uloženo na kuželové ploše, aby se předepnutím vymezily vůle v ložisku.

Vřeteno přenáší kroutící moment od ozubeného kola až k místu nástroje v levé části. V místě nástroje působí radiální a axiální síla od řezného procesu. Zatěžující síly vyvolává také ozubení.



Obr. 37. Uložení Vřetene

Vypočtené hodnoty

Z daného zatížení spočteme síly působící na ložiska, z kterých vypočteme životnost L_h a statickou bezpečnost S_0 . Tento krok provedeme za pomoci programu KISSsys a KISSsoft.

| | Radiální síla ve směru x | Axiální síla | Radiální síla ve směru z |
|--|--------------------------|--------------------|--------------------------|
| Kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem (Bearing1) | F _x [N] | F _y [N] | F _z [N] |
| 1. stav | -22489.3 | 19617.2 | -29922.1 |
| 2. stav | -14708.4 | 12845 | -19183.4 |
| 3. stav | -1368.2 | 1352.3 | -1835.1 |
| Kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem (Bearing2) | | | |
| 1. stav | 12937.9 | -17807.9 | -21598.7 |
| 2. stav | 8428.5 | -11823.5 | -15077.7 |
| 3. stav | 1147.9 | -1334.7 | 1246.5 |
| Kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem (RollerBearing5) | | | |
| 1. stav | -12518.9 | 12256.2 | -19990.9 |
| 2. stav | -8390.1 | 8286.5 | -13282.6 |
| 3. stav | -857.7 | 876.6 | -1174.4 |
| Válečkové ložisko (RollerBearing6) | | | |
| 1. stav | 28746.3 | 0 | -12486.4 |
| 2. stav | 19087.6 | 0 | -8041.7 |
| 3. stav | 0 | 0 | 0 |

Tabulka 18. Reakce ložisek na vřetenu

Obdobně jako u pastorku provedeme výpočet životnosti L_h a statické bezpečnosti S_o .

| | Životnost | Statická bezpečnost |
|--|-------------|---------------------|
| Kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem (Bearing1) | L_h [hod] | S_o [-] |
| 1. stav | 6181 | 4.168 |
| 2. stav | 15174 | 6.453 |
| 3. stav | 1000000 | 68.153 |
| Výsledek se spektrem | 15242 | 4.168 |
| Kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem (Bearing2) | | |
| 1. stav | 18843 | 6.196 |
| 2. stav | 40907 | 9.031 |
| 3. stav | 1000000 | 92.062 |
| Výsledek se spektrem | 43221 | 6.196 |
| Kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem (RollerBearing5) | | |
| 1. stav | 24703 | 6.614 |
| 2. stav | 55274 | 9.93 |
| 3. stav | 1000000 | 107.268 |
| Výsledek se spektrem | 57333 | 6.614 |
| Válečkové ložisko (RollerBearing6) | | |
| 1. stav | 13214 | 5.839 |
| 2. stav | 34749 | 8.835 |
| 3. stav | 1000000 | 9999.99 |
| Výsledek se spektrem | 33530 | 5.839 |
| Požadované hodnoty | 4000 | 3 |

Tabulka 19. Vypočtené hodnoty životností a statických bezpečností na vřetení

10.5.1 Teplotně stálé otáčky

Obdobně jako v kapitole 10.5.1 spočteme teplotně stálé otáčky pro ložiska na Vřetenu.

| | Teplotně stálé otáčky $n\theta$ [ot/min] | |
|--|--|----------------------|
| | Mazání tukem | Mazání olej + vzduch |
| Kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem (Bearing1) | 5680.429 | 5038.022 |
| Kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem (Bearing2) | 5744.254 | 5038.022 |
| Kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem (RollerBearing5) | 5808.079 | 5101.795 |
| Válečkové ložisko (RollerBearing6) | 5869.668 | 5171.140 |

Tabulka 20. Teplotně stálé otáčky u ložisek na Vřetení

Použité maziva:

Tuk: KLÜBER quiet BQ 42-32

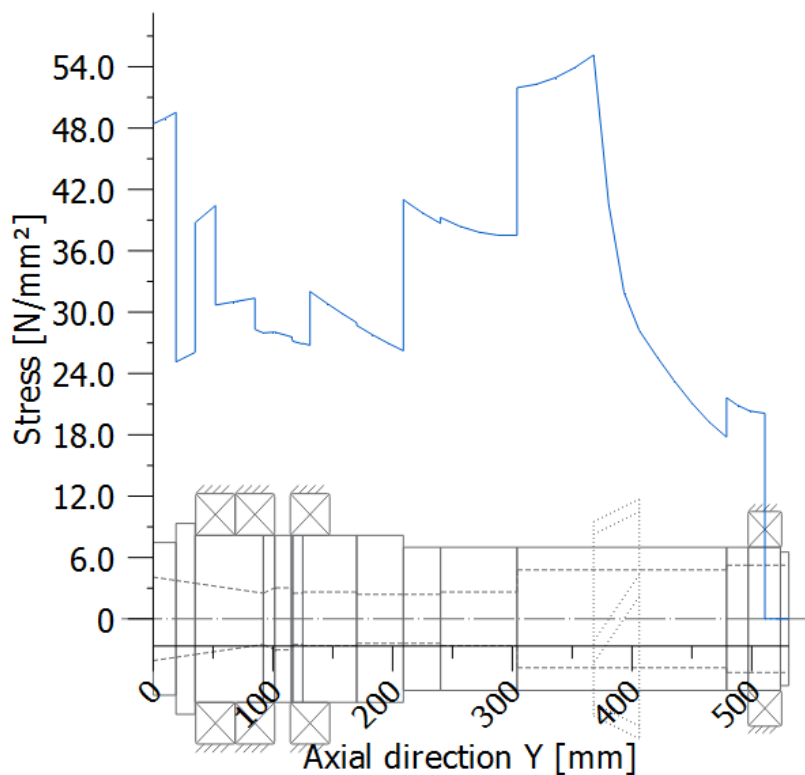
$\nu = 25 \text{ mm}^2/\text{s}$... Kinematická viskozita při 40 °C

Olej: KLÜBEROIL GEM 1-68

$\nu = 68 \text{ mm}^2/\text{s}$... Kinematická viskozita při 40 °C

Výpočet ověřil že všechna ložiska mají teplotně stálé otáčky vyšší než požadovaných 3000 ot/min a z tohoto hlediska vyhovují. Detailní hodnoty jsou k nalezení v Příloze č. 2.

10.6 Pevnostní kontrola vřetene



Obr. 38. Průběh redukovaného napětí na Pastorku dle von Mises $\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2}$

$$\sigma_{red_max} = 55,15 \text{ MPa}$$

Materiál Pastorku 1.1191 ekvivalent ČSN 12 050.

$$R_e = 275 \text{ MPa}$$

$$s = \frac{R_e}{\sigma_{red_max}} = \frac{275}{55,15} = 4,9$$

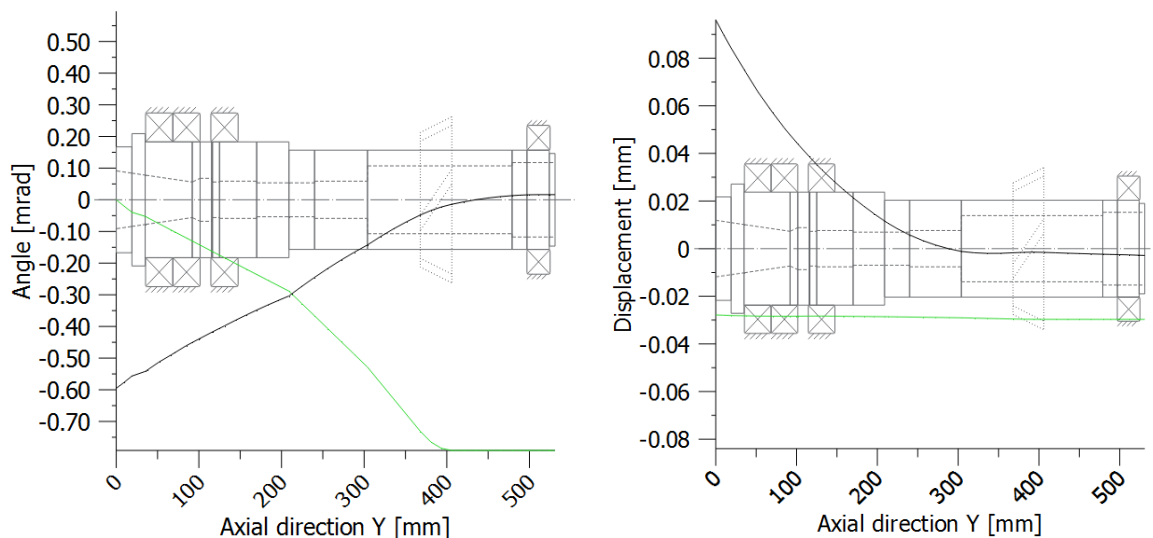
Pastorek **vyhovuje** s vysokou bezpečností $s=4,9$.

10.7 Tuhost v místě nástroje

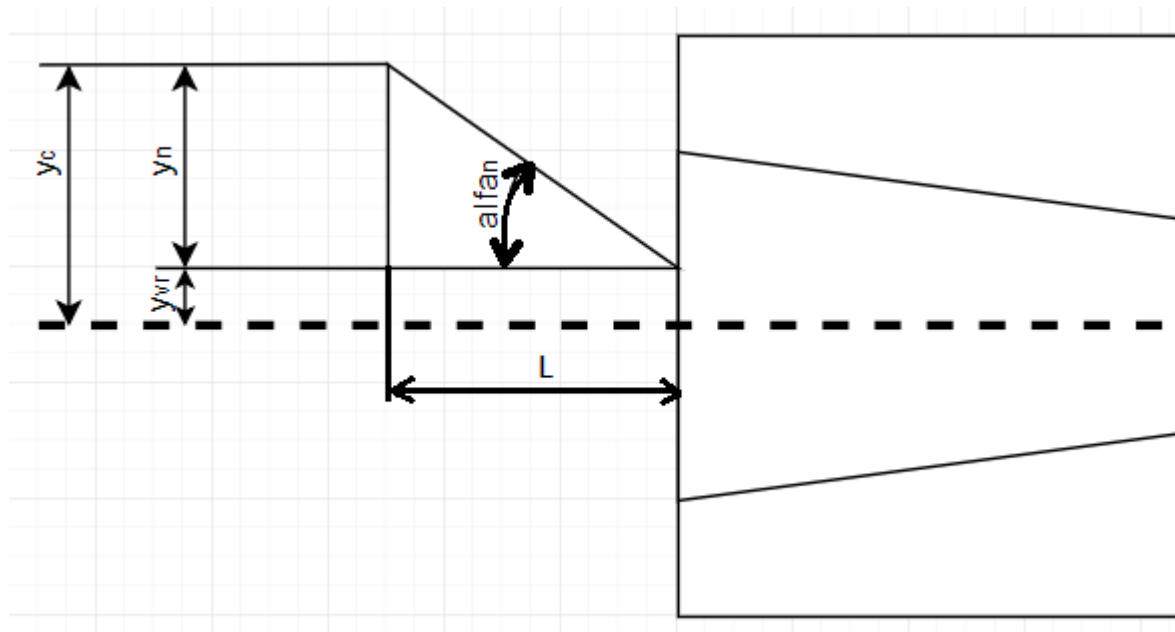
Důležitým parametrem u frézovací hlavy je tuhost v místě nástroje. Vychází z vychýlení vřetena y_{vr} a jeho natočení α_n . Hodnoty y_{vr} a α_n jsme spočetly pomocí programu KISSsoft

$$y_{vr} = 0,09 \text{ mm} \quad \text{Posunutí v místě vřetena}$$

$$\alpha_n = 0,6 * 10^{-3} \text{ rad} \quad \text{Natočení v místě vřetena}$$



Obr. 39. Úhly natočení (vlevo) a posunutí (vpravo); černá barva rovina x-z, zelená barva směr y



Obr. 40. Náskres pro výpočet tuhosti uložení

Z natočení v místě vřetena jsme schopni spočítat posunutí v místě nástroje, jelikož známe délku vysazení nástroje $L = 140$ mm.

$$y_n = L \cdot \tan(\alpha_n)$$

$$y_n = 140 \cdot \tan(0,6 \cdot 10^{-3}) = 0,03438 \text{ mm}$$

$$y_c = y_n + y_{vr}$$

$$y_c = 0,03438 + 0,09 = 0,12438$$

K určení tuhosti budeme ještě potřebovat zatěžující sílu F . Tu spočteme jako výslednici síly radiální a obvodové. Hodnoty sil vyplývají ze zadání.

$$F = \sqrt{F_o^2 + F_f^2}$$

$$F = \sqrt{40000^2 + 24000^2} = 46648 \text{ N}$$

Ze známého vztahu poté dopočteme tuhost:

$$k = \frac{F}{y_c}$$

$$k = \frac{46648}{0,124} = 376190 \frac{N}{mm}$$

Vypočtená tuhost je dostačující vzhledem k mezní hodnotě 50 kN/mm určující dynamickou stabilitu pro přenášený výkon.

11 Výběr varianty

V této kapitole se zaměříme na výběr suboptimální varianty z navržených variant z kapitoly 9. Tabulka 10. Nejdříve se zaměříme na zhodnocení každé z variant odděleně a v závěru porovnáme varianty pomocí rozhodovací tabulky. Výsledkem bude suboptimální varianta, pro kterou se dále zhotoví konstrukční návrh.

11.1 Varianta 1. Olej lázeň – Olej lázeň

Varianta s mazáním Ozubených kol a ložisek olejovou lázní vychází z klasického konceptu průmyslové převodovky. Zde jsou ozubená kola z části ponořena do oleje a pomocí rozstříku se mazivo dostane i na ložiska. Toto řešení počítá se stálou hladinou olejové lázně. To ovšem v našem případě nepřipadá v úvahu. Vřeteno může být nakloněno téměř pod jakýmkoli úhlem a to znamená, že určit stálou hladinu je nemožné. Mohlo by se tedy stát, že kuličková ložiska s kosoúhlým stykem budou ponořené celé v oleji a horní válečkové ložisko bude bez maziva. Z tohoto důvodu je varianta velice nevhodná.

| Výhody | Nevýhody |
|--|--------------------------------------|
| Dostačující pro mazání ozubeného soukolí | Nemožné určit hladinu oleje |
| | Možnost zahlcení ložisek olejem |
| | Těžko udržitelné v místě potřeby |
| | Nutnost kontaktního gumového těsnění |

Tabulka 21. Výhody a nevýhody Varianty 1.

11.2 Varianta 2. Tuk – Olej cirkulace

Druhou variantou je mazání ložisek Tukem a ozubeného soukolí olejovou cirkulací. Tato možnost se používá také u průmyslových převodovek, kde je potřeba odvézt ze stroje větší množství vniklého tepla. Tento způsob mazání by pro naši aplikaci dokázal zajistit dostatečné mazání ozubených kol poměrně velkým množstvím oleje. Problém je však opět v odtocích, které jsou řešeny většinou gravitačně. Toto velké množství oleje by se také muselo dobře těsnit, aby se například olej nedostal k ložiskům, kde by znehodnotil mazací tuk. Nepříznivým aspektem by byla také vyšší pořizovací cena.

| Výhody | Nevýhody |
|--|--|
| Dostačující pro mazání ozubeného Soukolí | Odtok gravitačně = problém kvůli pozici hlavy |
| Možnost chlazení u ozubených kol | Potřeba odvézt poměrně velké množství oleje |
| | Vyšší cena |
| | Nutnost kontaktního gumového těsnění k zaslepení ložisek |

Tabulka 22. Výhody a nevýhody Varianty 2.

11.3 Varianta 3. Olej cirkulace – Olej cirkulace

Varianta s mazáním olejovou cirkulací v celé frézovací má podobné výhody i nevýhody jako předešlá varianta, s tím že odpadá těsnění k zaslepování ložisek. Nadále však je problém s gravitačním odtokem maziva. Tato varianta je také výrobně náročnější a tím pádem i dražší.

| Výhody | Nevýhody |
|--|--|
| Dostačující pro mazání ozubeného Soukolí | Odtok gravitačně = problém kvůli pozici hlavy |
| Možnost chlazení u ozubených kol a ložisek | Potřeba odvézt poměrně velké množství oleje |
| | Vyšší cena |
| | Nutnost kontaktního gumového těsnění |
| | Konstrukčně náročné |

Tabulka 23. Výhody a nevýhody Varianty 3.

11.4 Varianta 4. Tuk – Olej + vzduch

Mazání ložisek tukem a ozubeného soukolí systémem olej vzduch by umožnilo dostačující mazání ozubených kol. Velkou výhodou by byla malá spotřeba oleje a odvod maziva z hlavy by se vyřešil několika odfuky v tělese hlavy. Pozitivní přínos je také neustálé proudění vzduchu, které zamezuje vniknutí nečistot do hlavy. Mezi nevýhody této varianty patří vyšší cena a nutnost použití kontaktního gumového těsnění k zaslepení ložisek.

| Výhody | Nevýhody |
|---|--|
| Dostačující pro mazání ozubeného soukolí | Vyšší cena |
| Možnost chlazení u ozubených kol | Nutnost kontaktního gumového těsnění k zaslepení ložisek |
| Malá spotřeba oleje | |
| Vzduch zabraňuje vniknutí nečistot do hlavy | |

Tabulka 24. Výhody a nevýhody Varianty 4.

11.5 Varianta 5. Olej + vzduch – Olej + vzduch

Poslední varianta kompletního mazání frézovací hlavy systémem olej + vzduch nabízí stejné výhody jako varianta č. 4. Ovšem náklady na výrobu by byli opět o něco vyšší, kvůli potřebě více vyvrtaných otvorů a celková konstrukce by se stala daleko více komplikovanou.

| Výhody | Nevýhody |
|---|--------------------------------------|
| Dostačující pro mazání ozubeného soukolí | Vyšší cena |
| Možnost chlazení u ozubených kol a ložisek | Nutnost kontaktního gumového těsnění |
| Malá spotřeba oleje | Konstrukčně náročné |
| Vzduch zabraňuje vniknutí nečistot do hlavy | |

Tabulka 25. Výhody a nevýhody Varianty 5.

11.6 Rozhodovací tabulka

Výběr suboptimální varianty byl proveden pomocí rozhodovací tabulky. Zvoleným kritériím byli přiřazeny váhy, kterými byli násobeny hodnoty stanovené pro jednotlivá kritéria.

| Kritéria [0-10] | | Faktor váhy [0-10] | Varianta | | | | |
|--------------------------------|----------------|--------------------|----------|-----|-----|------------|-----|
| | | | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. |
| Funkčnost | Hodnota | | 1 | 4 | 4 | 9 | 8 |
| | Vážená hodnota | ·10 | 10 | 40 | 40 | 90 | 80 |
| Termoregulace | Hodnota | | 4 | 6 | 9 | 5 | 6 |
| | Vážená hodnota | ·5 | 20 | 30 | 45 | 25 | 30 |
| Životnost | Hodnota | | 5 | 6 | 8 | 7 | 8 |
| | Vážená hodnota | ·8 | 40 | 48 | 64 | 56 | 64 |
| Jednoduchost konstrukce (cena) | Hodnota | | 3 | 4 | 2 | 6 | 4 |
| | Vážená hodnota | ·9 | 27 | 36 | 18 | 54 | 36 |
| Součet vážených hodnot | | | 97 | 154 | 167 | 225 | 210 |

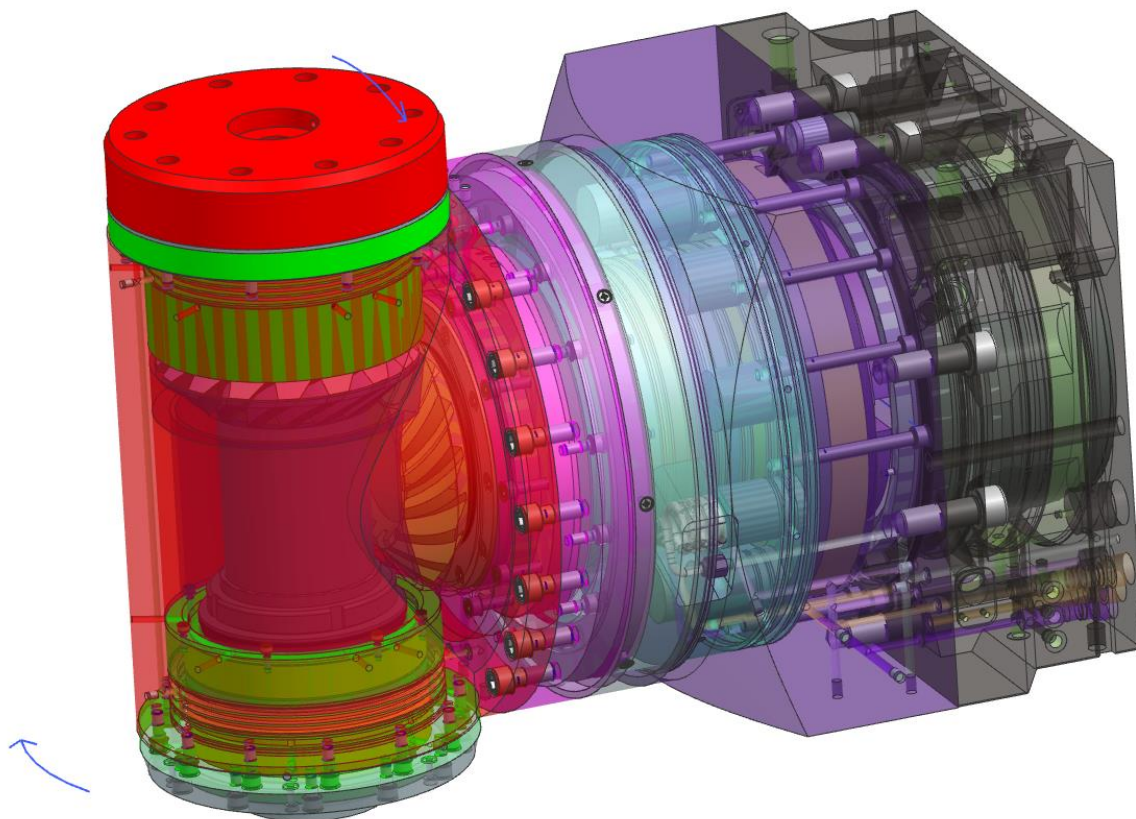
Tabulka 26. Rozhodovací tabulka

11.7 Vybraná varianta

Vítězná varianta je mazání ložisek pomocí tuku a ozubeného soukolí systémem Olej + vzduch. K zhotovení tohoto řešení bude potřeba zakoupit zařízení pro dávkování maziva do tlakového vzduchu a několik konstrukčních úprav, které budou popsány v následující kapitole 12. Konstrukční návrh.

12 Konstrukční návrh

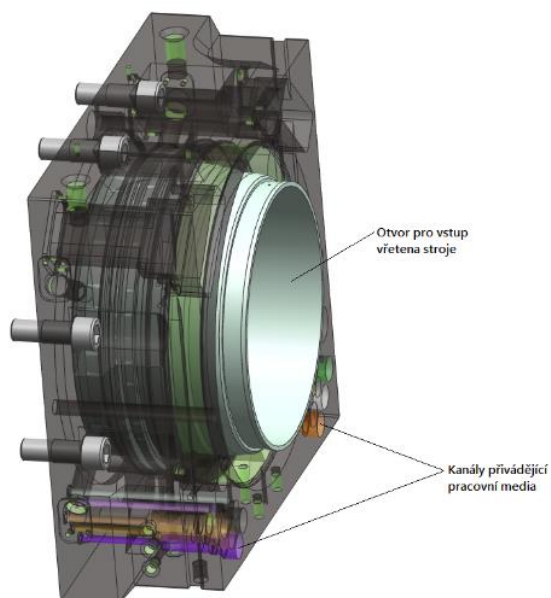
Frézovací hlava IFVW 103 se skládá z několika základních celků. Základem je příruba, která připevňuje hlavu ke stroji. Uložení pastorku a vřetena, které slouží k přenosu kroutícího momentu a k zachycení řezných sil. Systém s Hirtovou spojkou pro natáčení hlavy. Ve vřetení se nachází systém pro upínání nástrojů, který je výrobkem subdodavatele. Jednotlivé podskupiny si nyní rozebereme v následujících kapitolách.



Obr. 41. Nové řešení frézovací hlavy IFVW 103

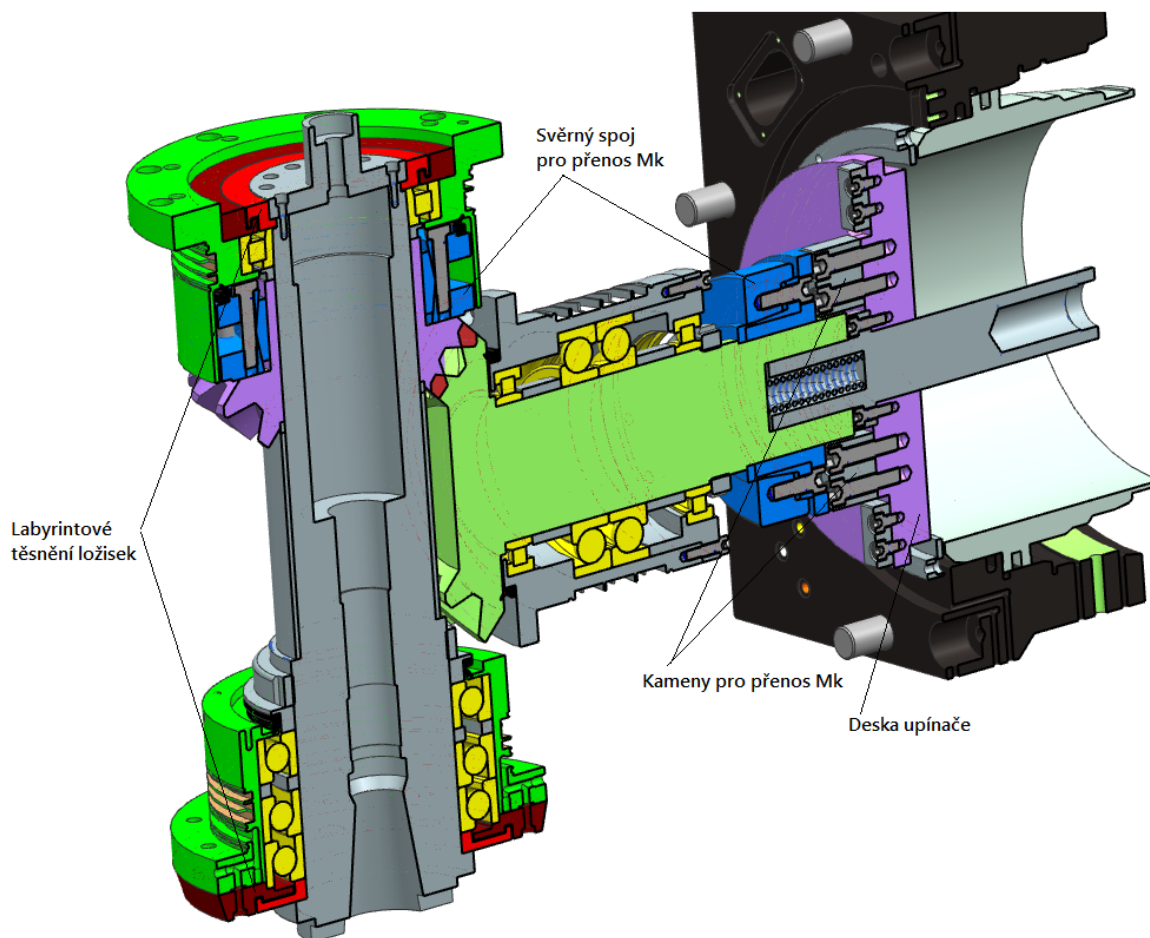
12.1 Připevnění ke stroji

K upevnění frézovací hlavy ke stroji slouží příruba frézovací hlavy. V našem případě byla použita příruba pro stroj HCW 2.



Obr. 42. Příruba stroje HCW 2

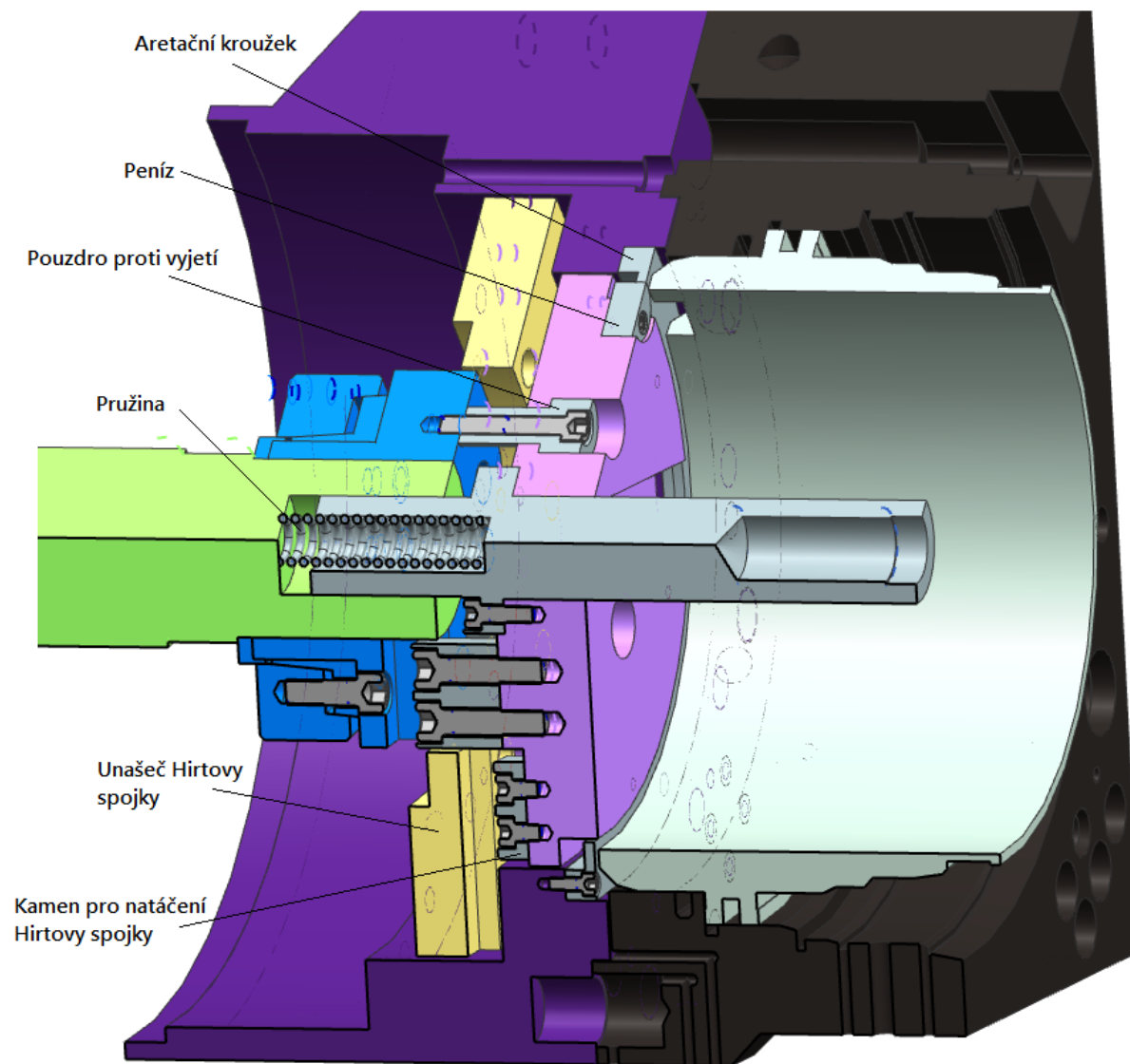
12.2 Uložení a přenos kroutícího momentu



Obr. 43. Uložení

Vřeteno stroje zajede do válcové části příruby a kameny vřetena stroje zapadnou do desky upínače. Dále je přenos kroutícího momentu zajištěn nejdříve dvěma kameny zapadajícími nastálo do svěrného spoje na pastorku. Poté kroutící moment teče přes ozubený pastorek do ozubeného kola a je přenesen na vřeteno pomocí dalšího svěrného spojení. Ložiska (žlutá barva) jsou uložena v pouzdrech.

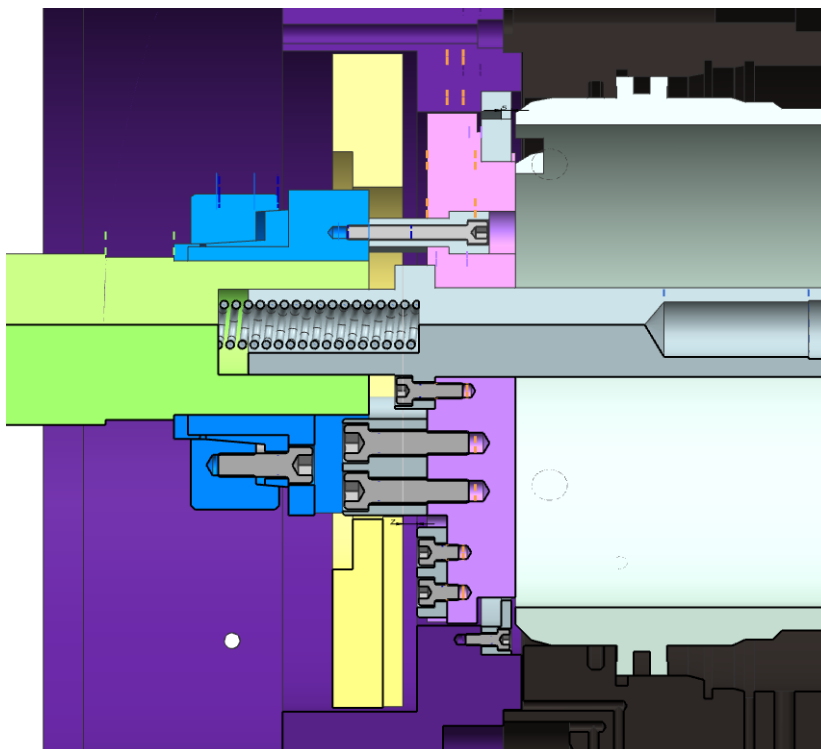
12.3 Aretace a natáčení frézovací hlavy



Obr. 44. Součásti aretačního řešení (pozice aretace)

Pozice aretace

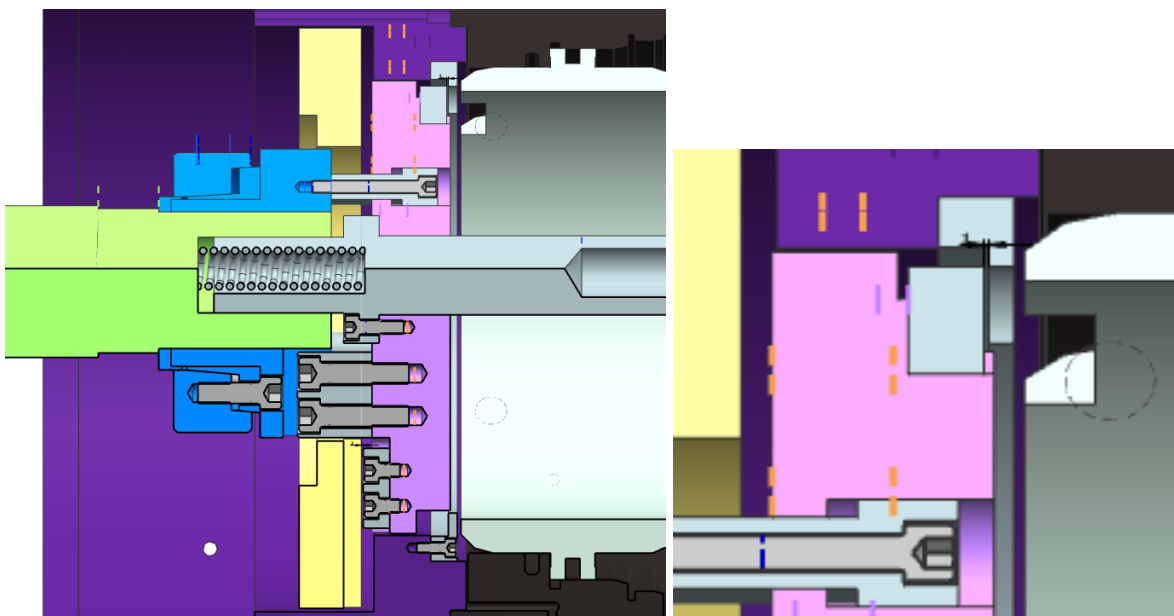
Při této pozici je vřeteno hlavy ve své výchozí poloze. Bude se používat například při výměně nástrojů nebo při odložení hlavy. Aretace je zajištěna kruhovým penízem, který zapadne do drážky na aretačním kroužku. Nastavení této polohy je provedeno pružinou, která odtlačí sestavu upínače. Deska upínače se opře o pouzdro a zůstane v požadované poloze.



Obr. 45. Pozice aretace

Pozice obrábění

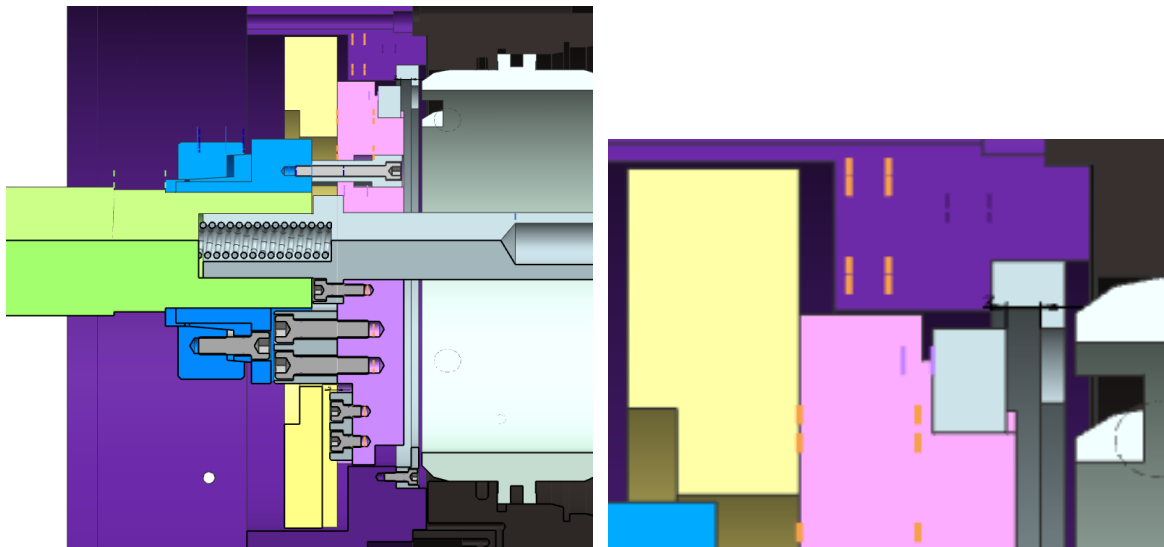
Při pozici obrábění je mezi Penízem a Aretačním kroužkem mezera 1 mm. Stejně tak je mezera 1 mm mezi Kamenem pro natáčení Hirtovy spojky a Unašečem Hirtovy spojky. Deska upínače se může volně otáčet a přes Kamene pro přenos M_k předávat kroutící moment dále na pastorek. Pro dosažení této pozice musí vřeteno stroje vytlačit Desku upínače o 6 mm z polohy aretace.



Obr. 46. Pozice obrábění

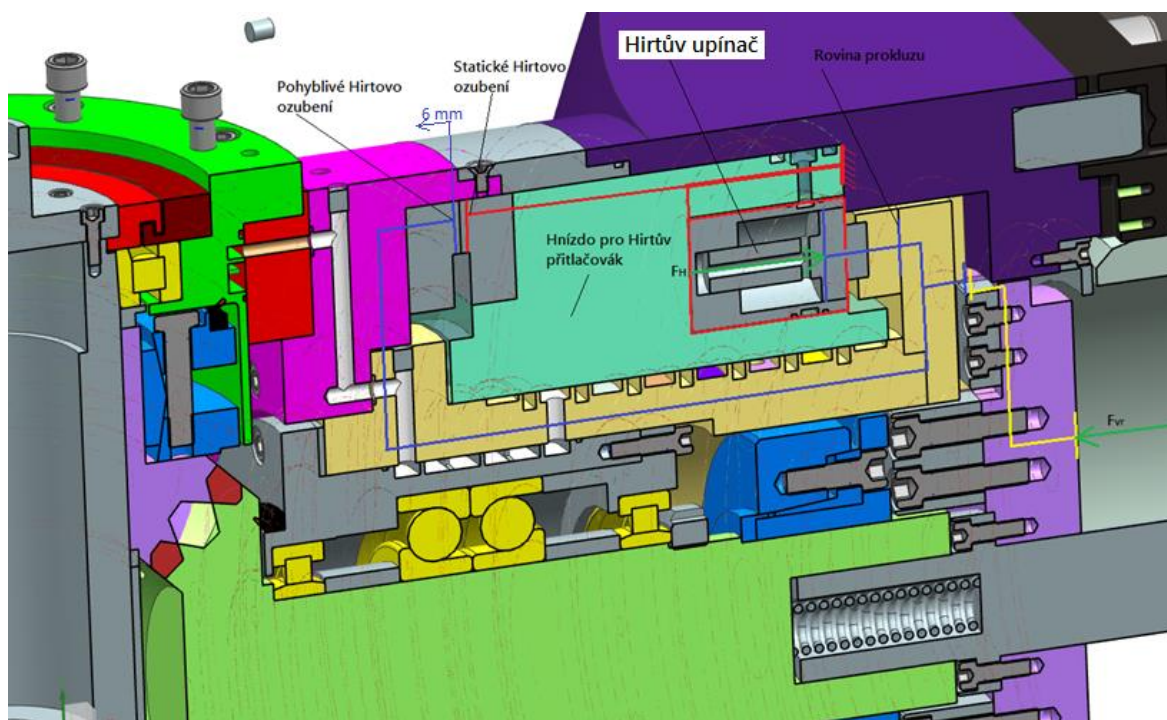
Pozice natáčení

Pozice natáčení vyžaduje zapadnutí Kamenů pro natáčení Hirtovy spojky do Unašeče hirtovy spojky. Tím bude zajištěna možnost otáčet pohyblivou částí Hirtovy spojky. Vřeteno stroje vytlačí opět desku upínače o dalších 6 mm. Deska upínače se tím dostane do kontaktu s Unašečem Hirtovy spojky. Tato pozice je výchozí pozicí pro odtlačení Hirtovy spojky.



Obr. 47. Pozice natáčení

Natáčení frézovací hlavy



Obr. 48. Natáčení frézovací hlavy

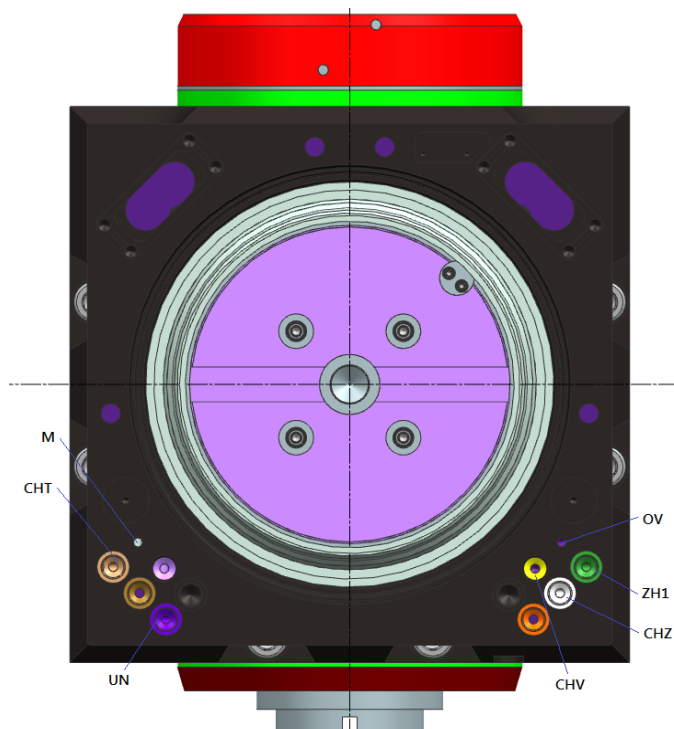
Natáčení frézovací hlavy je zajištěno pomocí Hirtovy ozubené spojky. V normálním stavu jsou k sobě přítlačovány ozubení pomocí Hirtova upínače. V upínači je vyvozena tlačná síla pomocí talířových pružin a hydraulického pístu. Tato síla je na obrázku znázorněna zelenou barvou a je označena F_H . Při potřebě rozpojení Hirtova ozubení a jeho natočení je Deska upínače zavedena do polohy natáčení a dále přítlačena silou F_{vr} o dalších 6 mm pro rozpojení Hirtova ozubení.

12.4 Rozvod pracovních medií

Po celé frézovací hlavě je potřeba dopravit několik pracovních medií s různými funkcemi. Kvůli tomuto je hlava navrtána 8 různými kanálkami pro dopravení medií na patřičné místo.

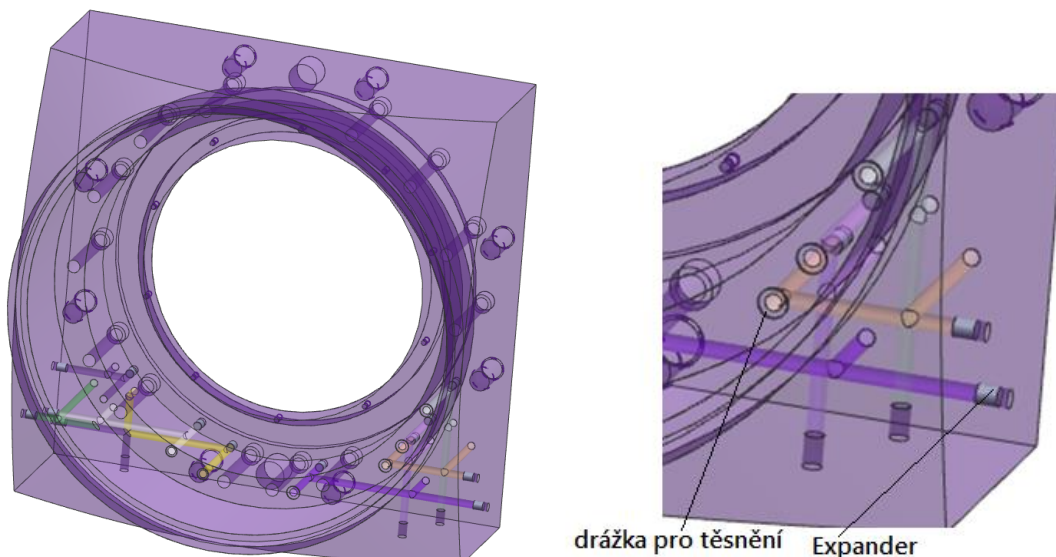
| Zkratka | Název | Barva v modelu | Vedené medium |
|---------|-------------------|----------------|--------------------------|
| CHS | Chlazení středem | světle fialová | Chladicí kapalina |
| CHV | Chlazení vnější | žlutá | Chladicí kapalina |
| UN | Uvolnění nástroje | fialová | Tlakový hydraulický olej |
| OV | Ochrana vzduchem | tmavě fialová | Vzduch |
| ZH1 | Zpevnění hirta 1 | zelená | Tlakový hydraulický olej |
| M | Mazání kol | šedá | Olej + vzduch |
| CHT | Chlazení tam | hnědá | Chladicí kapalina |
| CHZ | Chlazení zpět | bílá | Chladicí kapalina |

Tabulka 27. Popis pracovních medií



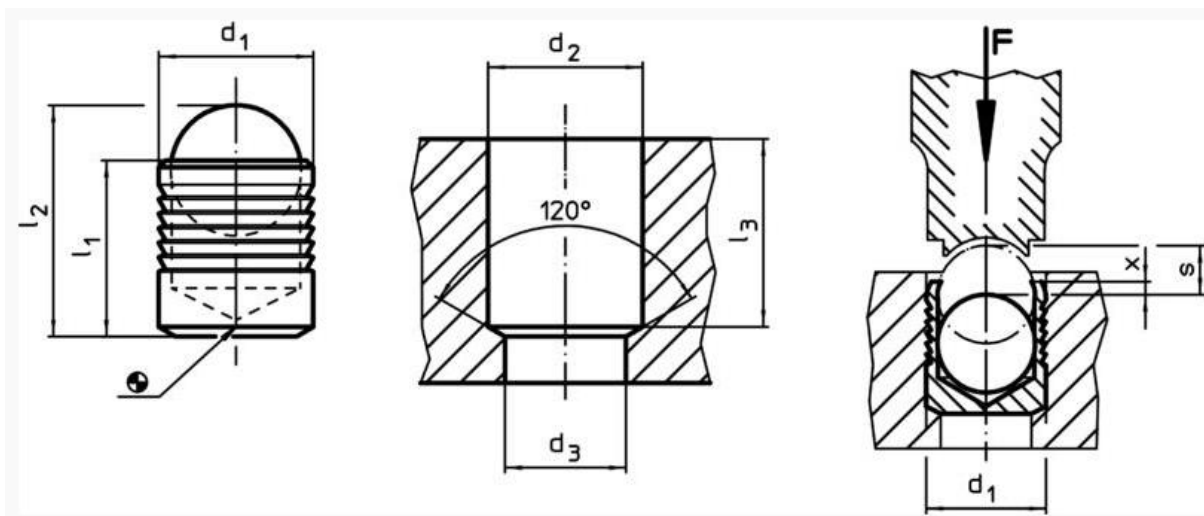
Obr. 49. Přívod medií od pinoly stroje

Media jsou přivedena vnitřkem pinoly a jsou převedena do frézovací hlavy na přírubě frézovací hlavy přes rychlospojky. Dále jsou media vedena přes statickou část na Hnízdo pro hirtův upínač.



Obr. 50. Vrtání statické části

Kanálky jsou vedeny různými variacemi vrtání a jeho následným zaslepením v místě potřeby. K tomu v našem případě slouží Expander. Expander je váleček s kuličkou uvnitř. Před montáží je kuličky vysunutá z válečku a poté se zarazí do válečku, tím se váleček zaryje do stěn kanálku a působí jako stálé těsnění. Výhodou je těsnění v obou směrech, možnost průchodu skrze jiné kanálky a jednoduchá montáž. Těsnění mezi dělicími rovinami zajišťuje O kroužek Ø10 x 2.

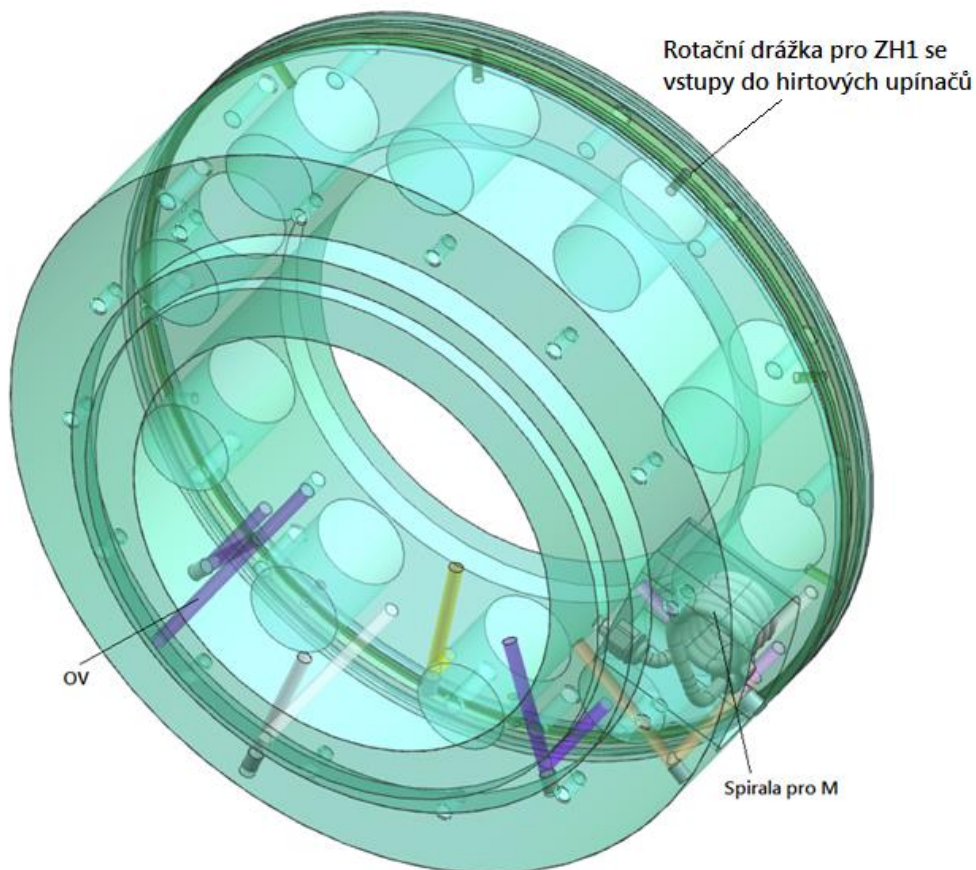


Obr. 51. princip Expanderu

Na součásti Hnízdo pro hirtův upínač jsou kanálky převedeny na vnitřní válcovou plochu, aby mohly přejít na rotační kanálek na součásti Rotační převaděč.

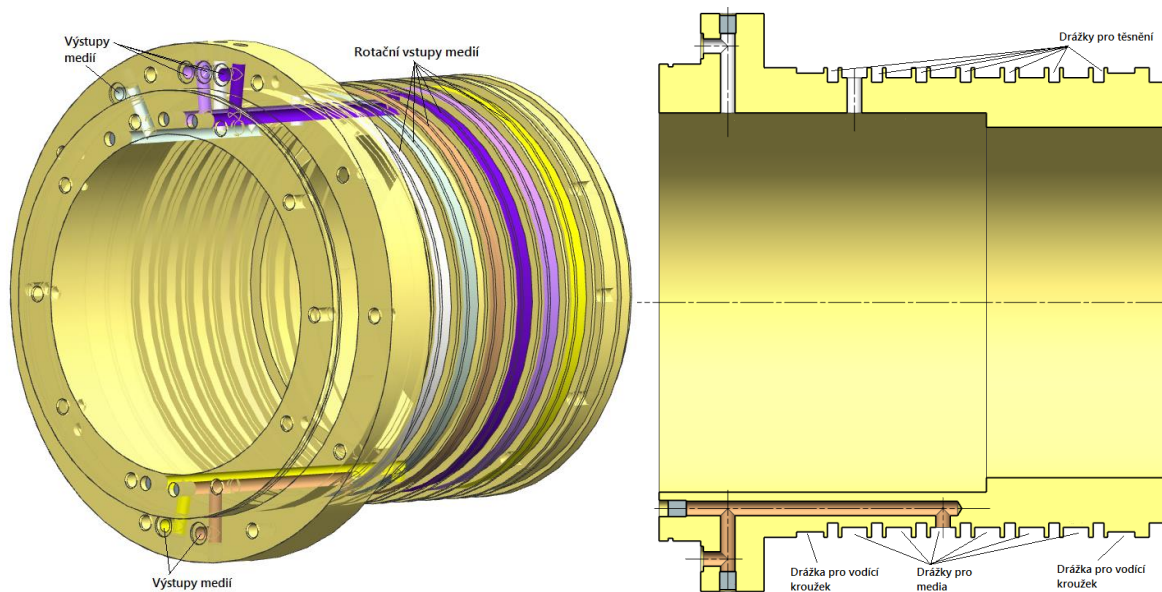
Výjimkou jsou pouze ZH1 a OV. ZH1 je přivedeno ze statické části na vnější válcovou plochu, kde se nachází rotační drážka. Do té jsou navrtány vstupy do hirtových upínačů, kde zajišťují přitlačení hirtovy spojky. OV je vedena pouze skrze tuto součást.

V součásti je také namontována spirála z tecalanové trubičky v trase mazání M. Spirála nám způsobí uložení oleje při vypnutí stroje. Při opětovném zapnutí bude množství uložené ve spirále rychleji dopraveno do místa mazání, než by tomu bylo při přívodu oleje až z agregátu zařízení olej + vzduch. Zamezíme tím počátečnímu chodu zařízení bez přívodu maziva.



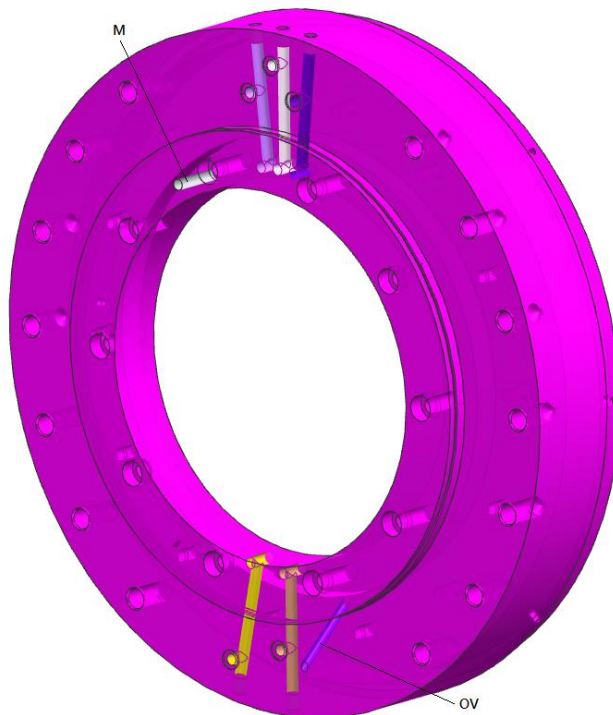
Obr. 52. Vrtání hnízda

Rotační převaděč souží k převedení pracovních medií při jakémkoli natočení hlavy. Na své vnější válcové ploše má drážky, do kterých media vstupují. Drážky jsou mezi sebou těsněné pomocí rotačního těsnění. Na koncích je drážka pro vodící kroužky. Rotační převaděč pojíždí při natáčení vůči předchozí součásti (Hnízdo pro hirtův upínač). Výstup medií je na levém čele součásti. Pracovní media dále pokračují do součásti Sedlo hirt otočný.



Obr. 53. Rotační převaděč

Sedlo hirta otočného je další součástí, která přibližuje pracovní media ke svému cíli. Systém vrtání je podobný jako u rotačního převaděče.

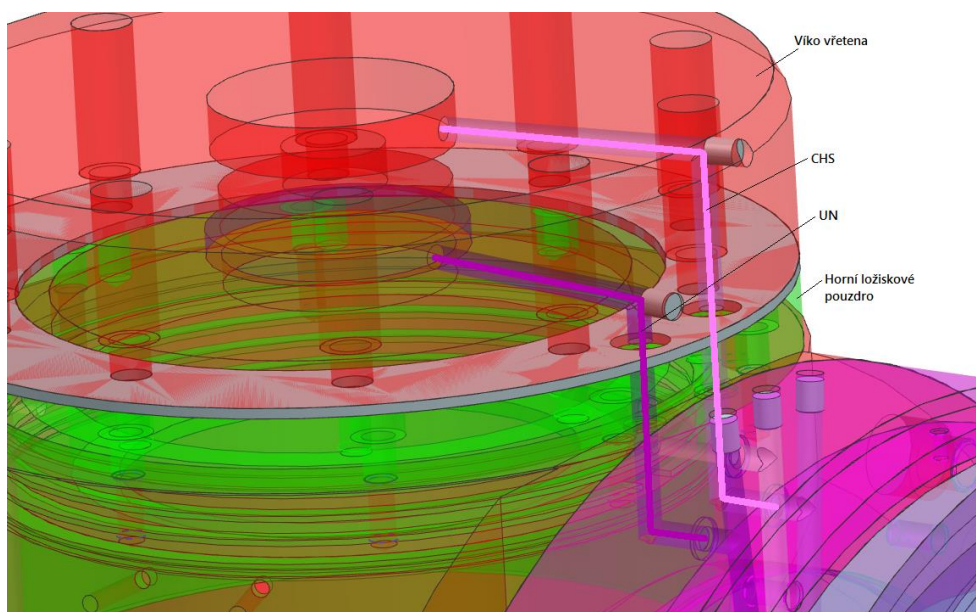


Obr. 54. Sedlo hirta otočný

Dále se kanálky vydávají různými směry do místa určení, proto se na ně podíváme jednotlivě.

12.4.1 Upínání nástroje a chlazení středem UN a CHS

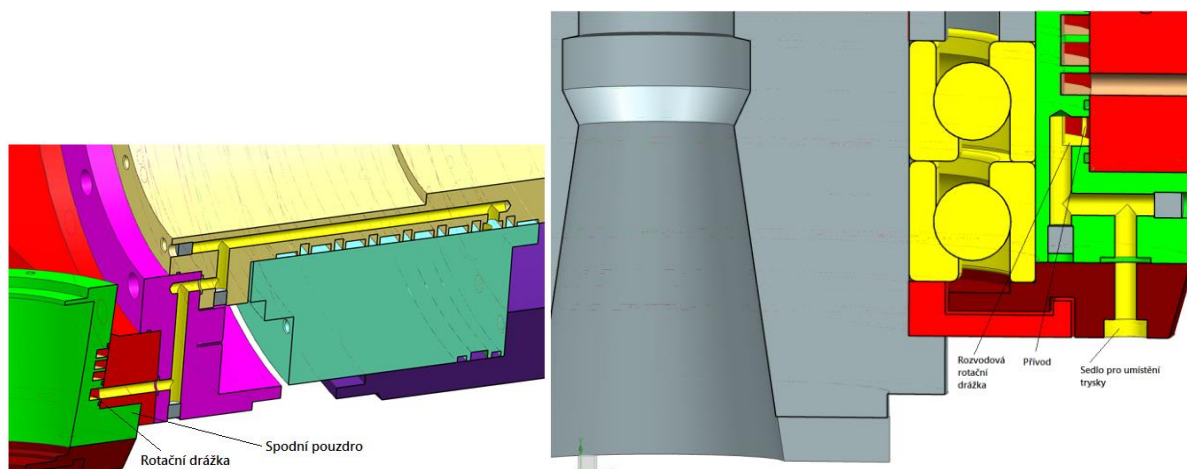
UN a CHS je potřeba dovést na dvě různé vnitřní válcové plochy ve víku vřetena. Odtud vstupují do zařízení pro upínání obrobků.



Obr. 55. Kanálky UN a CHS

12.4.2 Chlazení vnější CHV

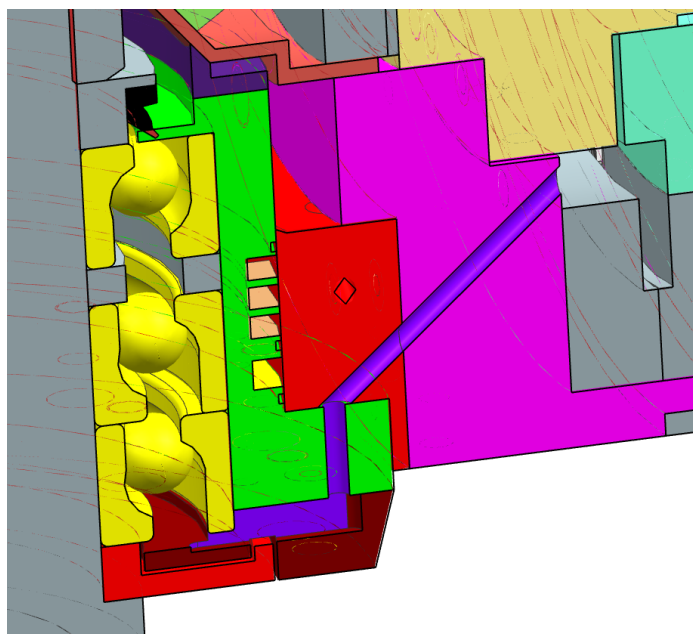
Chlazení vněškem je přivedeno do rotační drážky ve spodním pouzdře. Tou je rozvedeno k osmi navrtaným kanálkům, kde budou na konci umístěny směrovací trysky a budou směřovat chladí kapalinu do místa řezu.



Obr. 56. CHV

12.4.3 Ochrana vzduchem OV

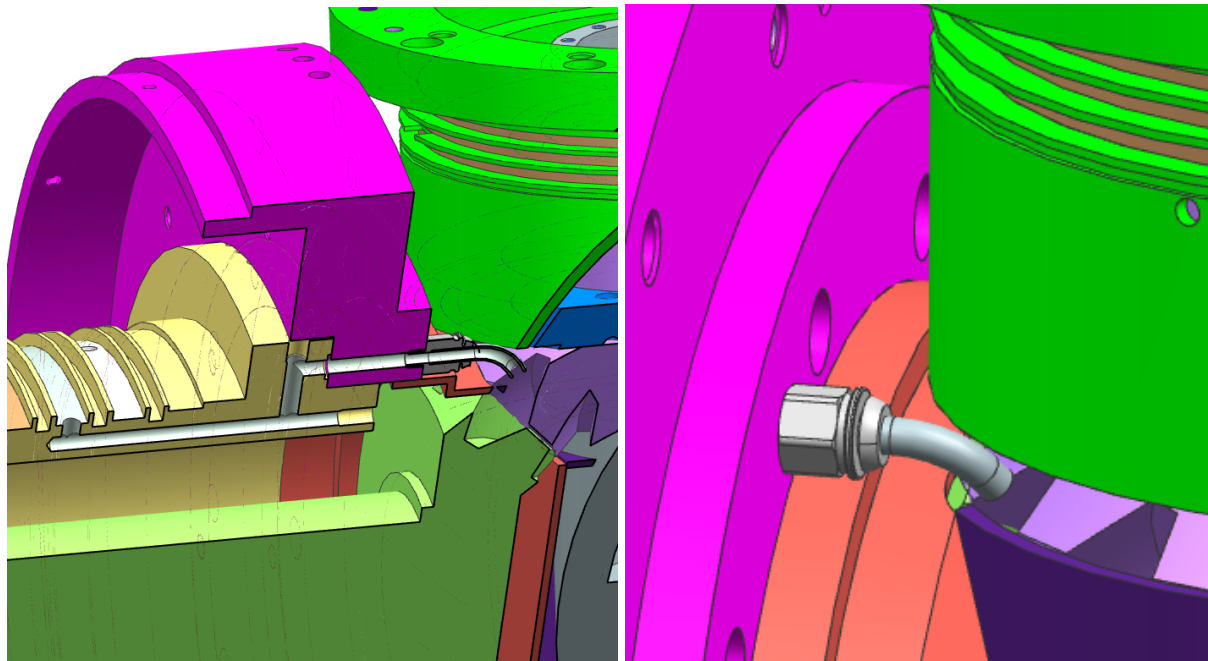
Ochrana vzduchem je přivedena šikmým vrtáním a vyfrézovanou drážkou ve spodním labyrintu do prostor spodního labyrintu, kde zabráňuje vnikání nečistot do spodních ložisek zařízení.



Obr. 57. Ochrana labyrintu vzduchem

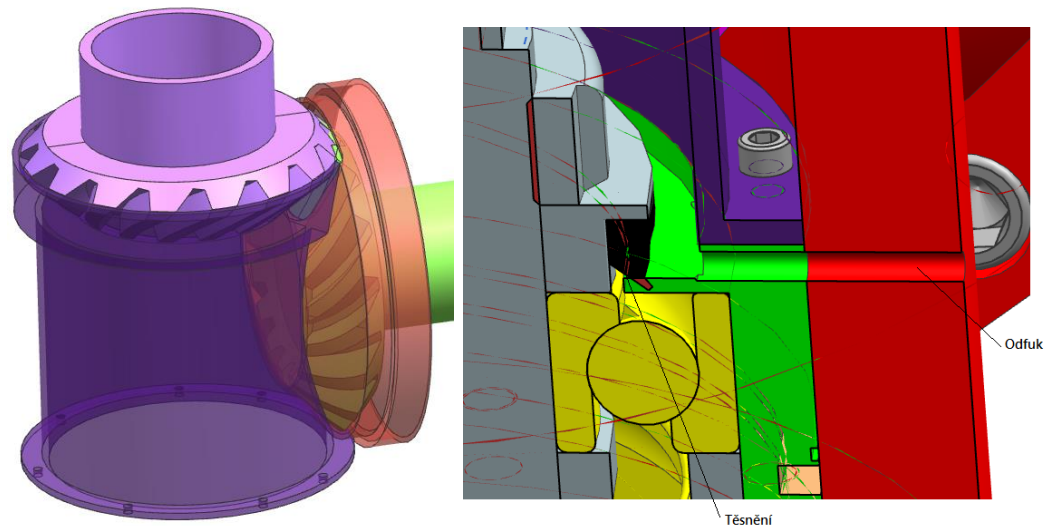
12.4.4 Mazání systémem olej + vzduch

Systém olej + vzduch bude přiveden do trysky, která jej bude směřovat do místa záběru ozubených kol. Tímto dosáhneme optimálního dávkování přímo v místě záběru.



Obr. 58. Olej + vzduch

Pro další udržení oleje v okolí ozubených kol jsou v sestavě zakomponované dva kryty. Kryt pastorku a kryt ozubeného kola.

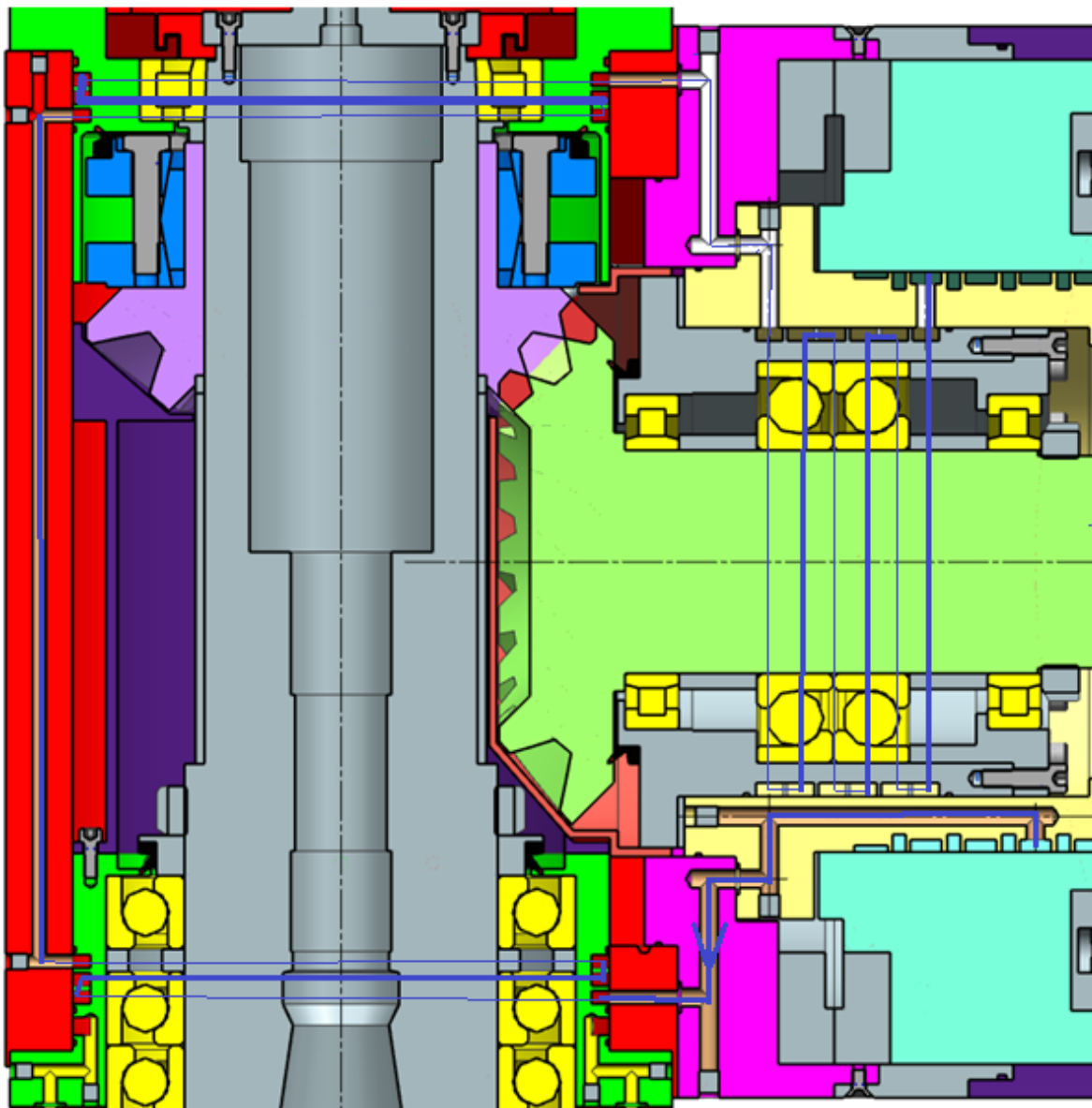


Obr. 59. Zakrytování ozubení; Těsnění a odfuk

Po uniknutí maziva z místa potřeby bude olej hnán vzduchem, skrz vyvrtané odfuky v tělese hlavy, ven, kde bude mazivo sbíráno příslušenstvím stroje. Ložiska budou zatěsněna V kroužky.


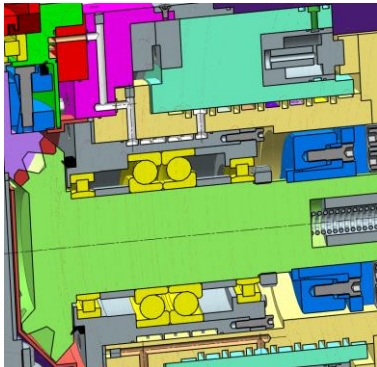
12.4.5 Chlazení hlavy CHT a CHZ

Jedním z bodů zadání této diplomové práce bylo zavést chlazení frézovací hlavy. K tomuto účelu slouží kanálky CHT a CHZ. Chladicí kapalina bude nejdříve přivedena ke spodním ložiskům, která budou nejméně teplotně namáhané. Zde bude proudit třikrát okolo ložisek v obrobených rotačních kanálkách. Rotační kanálky jsou propojeny vždy na opačné straně frézovanou drážkou. Dále je chlazení vedeno tělesem frézovací hlavy a obdobný systém kanálků je použit u horního válečkového ložiska a u kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem na pastorku. Odtud je chladicí kapalina přivedena na rotační převáděč a odvedena na čelo přírubby.



Obr. 60. Chlazení hlavy

13 Technickoekonomické hodnocení a Závěr

| Stávající řešení | | | Nové řešení | | |
|--|---|------|--|---|-------------|
| Výkon | kW | 67 | Výkon | kW | 67 |
| Moment | Nm | 4000 | Moment | Nm | 4000 |
| Jmenovité otáčky | min ⁻¹ | 160 | Jmenovité otáčky | min ⁻¹ | 160 |
| Maximální otáčky | min ⁻¹ | 2500 | Maximální otáčky | min ⁻¹ | 3000 |
| | | | Tuhost v místě nástroje | kN/mm | 376,19 |
| Uložení pastorku Rotační převaděč Hnízdo pro hirtův upínač |  | | Uložení pastorku Rotační převaděč Hnízdo pro hirtův upínač |  | |

Tabulka 28. Porovnání řešení

Přínosy

Základním přínosem, který byl požadován i v zadání, jsou maximální otáčky 3000 ot/min. Tohoto požadavku bylo dosaženo na základě výpočtu z programu KISSsys a KISSsoft. Ověřili jsme jak životnost ložisek, tak jejich teplotně stálé otáčky při 70°C. U ložisek bylo zachováno mazání tukem. Byla zkontrolována i tuhost v místě nástroje, která vyhovuje vůči minimální hodnotě 50 kN/mm určující dynamickou stabilitu pro přenášený výkon.

Druhým velkým přínosem je zavedení mazání ozubených kol systémem olej + vzduch. Tato inovace nám zaručí větší bezpečnost na boku zubu. Delší životnost ozubeného soukolí, jelikož při použití oleje dosáhneme větší bezpečnosti proti otěru na boku zubu (scuffing/micropitting) [14]. Menší hlučnost a menší výkonové ztráty.

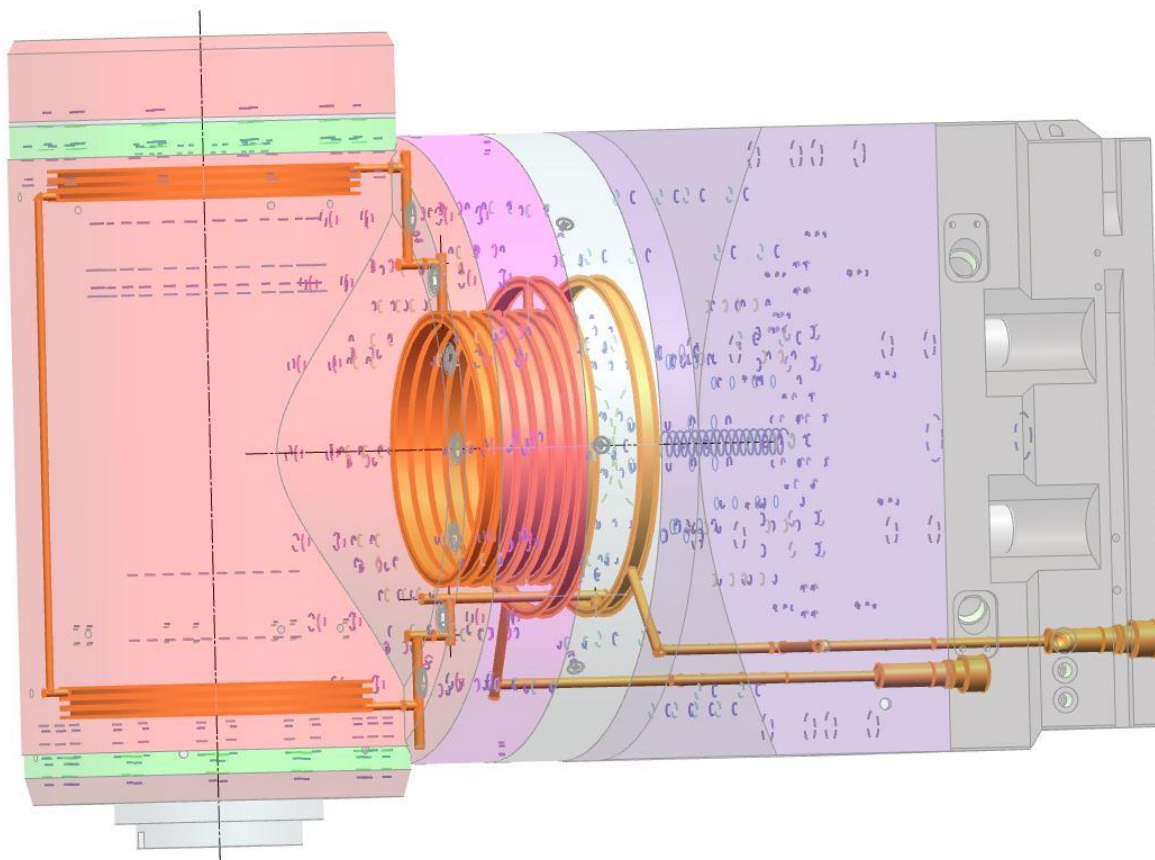
Třetím přínosem je zavedení chlazení frézovací hlavy. Chlazení nám zajistí možnost přesnějšího obrábění. Ochlazováním ložisek přispěje k prodloužení jejich životnosti.

Nově vzniklé náklady

Nově vzniklé náklady na zhotovení nového řešení budou ve velké míře zastoupeny nakoupenými položkami a to:

- mazací zařízení Woerner pro systém olej + vzduch
- 3x šroubení Ø 8mm
- 1,5 m tecalon trubičky 8 mm
- Těsnění
- 2x kuličková ložiska s kosoúhlým stykem
- 2x válečková ložiska
- 13x expader 9
- 3x expander 7

Další budou náklady na obrábění. V novém řešení bude zapotřebí obrobit více ploch, a to hlavně kanálky pro chlazení viz. následující obrázek. Bude se jednat přibližně o plochu velkou $284\,573\text{ mm}^2$.



Obr. 61. Kanálky chlazení

V poslední řadě přibudou také nepatrně náklady na materiál, jelikož rotační převaděč, hnízdo pro hřítvu upínač a statická část jsou prodlouženy v axiálním směru o 49 mm. Změnu bylo nutné provést, aby na rotačním převaděči mohly vzniknout dva nové kanálky pro chlazení. Rozdíl je patrný z obrázků v Tabulka 28.

Shrnutí

Nově navržené řešení využívá jednu z moderních technik mazání, a to systém olej + vzduch dále chlazení součástí hlavy.

Tento mazací systém dává předpoklady pro zlepšení záběru ozubených kol a tím snížení otěru boků zubů a hlučnosti.

Zavedené chlazení zvyšuje přesnost obrábění požadovanou při dlouhodobých nepřetržitých dokončovacích operacích (např. při frézování čelních ploch s vzájemným napojováním).

Vyšší náklady jsou vyváženy uvedenými užitnými vlastnostmi frézovací hlavy. Nové řešení frézovací hlavy IFVW 103 je jistě výhodnou investicí pro všechny firmy, které uvažují o koupi příslušenství tohoto typu.

14 Použité zdroje

1. Škoda (podnik). *wikipedia*. [Online] [Citace: 24. říjen 2017.] [https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0koda_\(podnik\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0koda_(podnik)).
2. **Ing. Petr Bernardin**. *Konstrukční návrh a výpočet frézovacího a vrtacího zařízení IFVW212CNC*. Plzeň : ZČU, 2010.
3. **KECKSTEIN, Tomáš**. *Konstrukční návrh univerzálního programovatelného manipulátoru*. Plzeň : ZČU, 2011.
4. **Doc. Ing. Zdeněk HUDEC, CSc.** *KOS4*. Plzeň : ZČU, 2016.
5. **ŠKODA Machine Tool**. *SKODA-Katalog-CZ*. Plzeň : ŠKODA Machine Tool, 2016.
6. **TOS VARNSDORF**. *Tos varnsdorf vyrobni program cz*. Varnsdorf : TOS VARNSDORF, 2017.
7. **SHW Werkzeugmaschinen GmbH**. *SHW Milling Heads*. Aalen : autor neznámý, 2017.
8. Fidia: Milling head. *Fidia*. [Online] 2017. [Citace: 20. Prosinec 2017.] http://www.fidia.it/en/products/milling_head_m5h/.
9. Pama: accessori. *Pama*. [Online] 2017. [Citace: 20. Prosinec 2017.] <http://us.pama.it/accessori/teste-accessorie/>.
10. **Kohara Gear Industry Co.,Ltd.** Lubrication of gears. *KHK gears*. [Online] 2015. [Citace: 3. leden 2018.] <http://khkgears.net/gear-knowledge/gear-technical-reference/lubrication-of-gears/>.
11. **SKF Communication Support Centre**. *Mazání*. místo neznámé : SKF, 2007.
12. Lubrication-rolling-bearings. *Machinerylubrication*. [Online] 2017. [Citace: 3. leden 2018.] <http://www.machinerylubrication.com/Read/844/lubrication-rolling-bearings>.
13. **EUGEN WOERNER GmbH & Co. KG**. *Dávkovací zařízení oleje a vzduchu*. Postfach : WOERNER, 2014.
14. **KISSsoft**. Manual. *kisssoft*. [Online] [Citace: 16. květen 2018.] <http://www.kisssoft.ch/Manual/en/9494.htm>.
15. **Ženíšek, Josef, a další, a další**. *Teorie a konstrukce výrobních strojů II*. Praha : Alfa, 1988.
16. **Leinveber, Jan a Vávra, Pavel**. *Strojnické tabulky*. Úvaly : Albra, 2005.
17. **Bednář, Bohumír, a další, a další**. *Technologičnost konstrukce I*. Praha : ČVUT.

15 Seznam Obrázků

| | |
|--|---|
| Obr. 1. Výrobní stroje [3]..... | 4 |
| Obr. 2. Horizontka s pevným stojanem vlevo starší stroj od firmy Škoda vpravo stroj od TOS Varnsdorf [4] [5] | 5 |
| Obr. 3. T – vlevo provedení WHQ 13 vpravo Giddings and Lewis [4]..... | 6 |
| Obr. 4. WRD 130 TOS VARNSDORF [6]..... | 6 |

| | |
|--|----|
| Obr. 5. FCW, HCW 1-4, HCW 2000-4000..... | 7 |
| Obr. 6. RTC robotická výměna nástrojů (vlevo), ATC automatická výměna nástrojů (vpravo) [5] | 8 |
| Obr. 7. Naklápečí stůl při obrábění vrchlíku větrné elektrárny (Škoda tdv tilt) [5]..... | 8 |
| Obr. 8. Možnosti využití frézovací hlavy [7] | 9 |
| Obr. 9. IFVW 4C, 102, IFVW 3C, IFVW 203 [5]..... | 9 |
| Obr. 10. IFVW 40, IFVW 206, IFVW 112, UFK 600 [5] | 10 |
| Obr. 11. IWD 125, IWD 1100, IFVW 110, IFVW 201 MI [5]..... | 10 |
| Obr. 12. M 5 H [8]..... | 11 |
| Obr. 13. Frézovací hlava pro obrábění T drážek, jednoosá pravoúhlá frézovací hlava [9] | 12 |
| Obr. 14. Řídící systém Heidenhain [6] | 12 |
| Obr. 15. Dopravník třísek, Chlazení nástroje [6] | 12 |
| Obr. 16. Vodící podpěra vřetena, Mazací systém, Sondy [6] | 13 |
| Obr. 17. Upínací zařízení [6]..... | 13 |
| Obr. 18. PICK UP systém od společnosti TOS Varnsdorf [6]..... | 13 |
| Obr. 19. IFVW 103 [5]..... | 14 |
| Obr. 20. Řez frézovací hlavou IFVW 103 A..... | 14 |
| Obr. 21. Uložení stávajícího řešení | 15 |
| Obr. 22. Rozsah obvodových rychlostí v závislosti na potřebné metodě mazání [10] | 16 |
| Obr. 23. Způsob domazávání [11], Složení mazacího tuku [12]..... | 17 |
| Obr. 24. Mazání olejovou lázní ložiska / ozubeného soukolí [11]..... | 18 |
| Obr. 25. Schéma cirkulace u dvouřadého soudečkového ložiska [11]..... | 18 |
| Obr. 26. Přívod oleje do místa záběru ozubených kol | 18 |
| Obr. 27. Vstřikování oleje [11] | 19 |
| Obr. 28. Schéma mazacího systému Olej + vzduch [13] | 19 |
| Obr. 29. Reálné mazací zařízení od firmy Woerner [13]..... | 20 |
| Obr. 30. Schéma chlazení, Znázornění vyvrtaných otvorů pro chlazení [7]..... | 21 |
| Obr. 31. Řezné tělo s břitovou destičkou pro 2. řezný stav..... | 24 |
| Obr. 32. Řezné tělo s břitovou destičkou pro 3. řezný stav..... | 24 |
| Obr. 33. Zatížení vřetene při frézování pravou čelní frézou | 25 |
| Obr. 34. Rozměry ozubeného soukolí | 26 |
| Obr. 35. Parametry pastorku | 28 |
| Obr. 36. Průběh redukovaného napětí na Pastorku dle von Mises $\sigma_{red} = \sigma^2 + 3 * \tau^2$ | 32 |
| Obr. 37. Uložení Vřetene | 33 |
| Obr. 38. Průběh redukovaného napětí na Pastorku dle von Mises $\sigma_{red} = \sigma^2 + 3 * \tau^2$ | 36 |

| | |
|--|----|
| Obr. 39. Úhly natočení (vlevo) a posunutí (vpravo); černá barva rovina x-z, zelená barva směr y..... | 37 |
| Obr. 40. Nákres pro výpočet tuhosti uložení..... | 37 |
| Obr. 41. Nové řešení frézovací hlavy IFWV 103 | 41 |
| Obr. 42. Příruba stroje HCW 2..... | 42 |
| Obr. 43. Uložení | 42 |
| Obr. 44. Součásti aretačního řešení (pozice aretace) | 43 |
| Obr. 45. Pozice aretace..... | 44 |
| Obr. 46. Pozice obrábění | 44 |
| Obr. 47. Pozice natáčení..... | 45 |
| Obr. 48. Natáčení frézovací hlavy..... | 45 |
| Obr. 49. Přívod medií od pinoly stroje..... | 46 |
| Obr. 50. Vrtání statické části | 47 |
| Obr. 51. princip Expanderu | 47 |
| Obr. 52. Vrtání hnízda..... | 48 |
| Obr. 53. Rotační převaděč..... | 48 |
| Obr. 54. Sedlo hirt otočný | 49 |
| Obr. 55. Kanálky UN a CHS..... | 49 |
| Obr. 56. CHV | 50 |
| Obr. 57. Ochrana labyrintu vzduchem | 50 |
| Obr. 58. Olej + vzduch..... | 51 |
| Obr. 59. Zakrytování ozubení; Těsnění a odfuk..... | 51 |
| Obr. 60. Chlazení hlavy..... | 52 |
| Obr. 61. Kanálky chlazení..... | 54 |

16 Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1. Přehled Horizontálních vyvrtávacích strojů od Škoda Machine Tool | 7 |
| Tabulka 2. Frézovací hlavy firmy Škoda [5]..... | 9 |
| Tabulka 3. Frézovací hlavy firmy Škoda [5]..... | 10 |
| Tabulka 4. Frézovací a vyvrtávací hlavy [5]..... | 10 |
| Tabulka 5. Parametry HPI 50 [6] | 11 |
| Tabulka 6. Parametry HV / E-H [6] | 11 |
| Tabulka 7. Parametry frézovací hlavy M 5 H [8] | 11 |
| Tabulka 8. Parametry stávajícího řešení IFVW 103 | 15 |
| Tabulka 9. Požadavky na změnu..... | 16 |

| | |
|---|----|
| Tabulka 10. Navrhnuté varianty řešení | 23 |
| Tabulka 11. Zátěžné stavy..... | 23 |
| Tabulka 12. Parametry ozubení..... | 26 |
| Tabulka 13. Vypočtené hodnoty ozubení..... | 27 |
| Tabulka 14. Reakce ložisek na pastorku | 29 |
| Tabulka 15. Vypočtené hodnoty životností a statických bezpečností na pastorku | 30 |
| Tabulka 16. Hodnoty koeficientů f_{0r} a f_{1r} | 31 |
| Tabulka 17. Teplotně stálé otáčky u ložisek na pastorku..... | 32 |
| Tabulka 18. Reakce ložisek na vřetenu | 34 |
| Tabulka 19. Vypočtené hodnoty životností a statických bezpečností na vřeteni..... | 35 |
| Tabulka 20. Teplotně stálé otáčky u ložisek na Vřeteni | 35 |
| Tabulka 21. Výhody a nevýhody Varianty 1. | 38 |
| Tabulka 22. Výhody a nevýhody Varianty 2. | 39 |
| Tabulka 23. Výhody a nevýhody Varianty 3. | 39 |
| Tabulka 24. Výhody a nevýhody Varianty 4. | 39 |
| Tabulka 25. Výhody a nevýhody Varianty 5. | 40 |
| Tabulka 26. Rozhodovací tabulka..... | 40 |
| Tabulka 27. Popis pracovních medií | 46 |
| Tabulka 28. Porovnání řešení..... | 53 |

17 Seznam Příloh

| | |
|--------------|---------------------------------|
| Příloha č. 1 | Výpočet uložení |
| Příloha č. 2 | Výpočet teplotně stálých otáček |
| Příloha č. 3 | Výpočet zatěžujících stavů |
| Příloha č. 4 | Výkres sestavy IFVW 103 |
| Příloha č. 5 | Výrobní výkres Pouzdro pastorku |

PŘÍLOHA č. 1

Výpočet uložení

O.GroupBox.GearPairConst1.BevelGearCalc1

KISSsoft Release 03/2017 E

KISSsoft - student license (not for commercial use)

File

Name : Unnamed

Changed by: SFin on: 08.05.2018 at: 21:25:20

Important hint: At least one warning has occurred during the calculation:

1-> Calculation for load spectra:

The application factor should be set to 1.0!

(according ISO6336-6 or DIN3990-6)

2-> Some elements of the Load spectrum are unusually big.

Check the Load spectrum.

(Element no. 1, Element no. 3)

BEVEL-GEAR-CALCULATION (BEVEL-GEAR-PAIR)

Drawing or article number:

Gear 1: 0.000.0

Gear 2: 0.000.0

Load spectrum

load_spectrum_100

Number of bins in the load spectrum: 3

Reference gear: 1

| Bin No. | Frequency [%] | Power [kW] | Speed [1/min] | Torque [Nm] | Coefficients | | | | | | Temperature |
|---------|---------------|------------|---------------|-------------|--------------|------------|-------------|------------|--------|--------|-------------|
| | | | | | KV | KH β | KH α | K γ | YM1 | YM2 | OilTemp |
| 1 | 20.00000 | 67.0206 | 160.0 | 4000.0000 | 1.0019 | 1.8750 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 70 |
| 2 | 50.00000 | 67.0808 | 242.0 | 2647.0000 | 1.0035 | 1.8750 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 70 |
| 3 | 30.00000 | 5.6549 | 3000.0 | 18.0000 | 1.8230 | 1.8750 | 1.2369 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 70 |

S-N curve (Woehler line) in the endurance domain according: according to standard

Notice:

Calculation-method according to:

- ISO 6336-6 / DIN3990-6

During the calculation all the load factors (ISO6336/DIN3990: KV, KH β , KF β ; AGMA2001: Knu, Km, ..) for each load spectrum bin are calculated separately.

Results

Safeties, calculated with load spectrum:

| | | |
|--------------|-------|-------|
| Root safety | 1.476 | 1.476 |
| Flank safety | 1.345 | 1.345 |

Safeties against scuffing/micropitting/EHT/TFF are indicated for the most critical element of the load spectrum:
 Scuffing safety (integral temperature) 2.738

Analysis of critical elements in load spectrum: See section 11

ONLY AS INFORMATION: CALCULATION WITH REFERENCE POWER

| | | | |
|---|--------------------------|---------|-------|
| Calculation method | Bevel gear DIN 3991:1988 | | |
| Geometry calculation according ISO 23509:2006, method | 3 | | |
| Uniform depth, fig 3 (Klingelnberg) | | | |
| Manufacture process: | lapped | | |
| Spiral toothing | | | |
| Face hobbing (continuing indexing method) | | | |
| Number of cutter blade groups | [z0] | 1.00 | |
| Cutter radius (mm) | [rc0] | 102.85 | |
| ----- GEAR 1 ----- GEAR 2 ----- | | | |
| Power (kW) | [P] | 1.047 | |
| Speed (1/min) | [n] | 100.0 | 100.0 |
| Rotation direction, wheel 1, viewed on cone tip: | | right | |
| Torque (Nm) | [T] | 100.0 | 100.0 |
| Application factor | [KA] | 1.25 | |
| Distribution factor | [Kgam] | 1.00 | |
| Required service life | [H] | 4000.00 | |
| Gear driving (+) / driven (-) | | + | - |
| Working flank gear 1: Right flank | | | |

1. TOOTH GEOMETRY AND MATERIAL

| | | | |
|---|-------------|---------|---------|
| ----- GEAR 1 ----- GEAR 2 ----- | | | |
| Hypoid offset (mm) | [a] | 0.000 | |
| Shaft angle (°) | [Sigma] | 90.0000 | |
| Mean normal module (mm) | [mmn] | 8.9546 | |
| Cutter blade module (mm) | [m0] | 8.00 | |
| Pressure angle at normal section (°) | [alfn] | 20.0000 | |
| Mean spiral angle (°) | [betm] | 38.0000 | |
| Hand of gear | | right | left |
| Number of teeth | [z] | 16 | 16 |
| Facewidth (mm) | [b] | 54.00 | 54.00 |
| Assumed and measured contact pattern width (mm) | [be] | 45.90 | 45.90 |
| Accuracy grade according to DIN 3965 | [Q-DIN3965] | 6 | 6 |
| Internal diameter gearbody (mm) | [di] | 0.000 | 60.000 |
| Pitch apex to front of gear blank (mm) | [yi] | 86.854 | 86.854 |
| Pitch apex to back of gear blank (mm) | [yo] | 125.038 | 125.038 |
| V misalignment (E) (µm) | [DeltaV] | 0.000 | |
| H misalignment (P) (µm) | [DeltaH] | 0.000 | |
| J misalignment (G) (µm) | [DeltaJ] | 0.000 | |

Material

Gear 1: 18CrNiMo7-6, Case-carburized steel, case-hardened
ISO 6336-5 Figure 9/10 (MQ), Core hardness $\geq 25\text{HRC}$ Jominy $J=12\text{mm}$ <HRC28

Gear 2: 18CrNiMo7-6, Case-carburized steel, case-hardened
ISO 6336-5 Figure 9/10 (MQ), Core hardness $\geq 25\text{HRC}$ Jominy $J=12\text{mm}$ <HRC28

| Surface hardness | HRC 61 | | |
|---|---------------------|---------|---------|
| Fatigue strength. tooth root stress (N/mm ²) | [σ_{Flim}] | 430.00 | 430.00 |
| Fatigue strength for Hertzian pressure (N/mm ²) | [σ_{Hlim}] | 1500.00 | 1500.00 |
| Tensile strength (N/mm ²) | [σ_B] | 1200.00 | 1200.00 |
| Yield point (N/mm ²) | [σ_S] | 850.00 | 850.00 |
| Young's modulus (N/mm ²) | [E] | 206000 | 206000 |
| Poisson's ratio | [ν] | 0.300 | 0.300 |
| Roughness average value DS, flank (μm) | [RAH] | 0.60 | 0.60 |
| Roughness average value DS, root (μm) | [RAF] | 3.00 | 3.00 |
| Mean roughness height, Rz, flank (μm) | [RZH] | 4.80 | 4.80 |
| Mean roughness height, Rz, root (μm) | [RZF] | 20.00 | 20.00 |

Gear reference profile 1 :

| Reference profile | 1.25 / 0.30 / 1.0 ISO 53:1998 Profil B | | |
|---------------------------------|--|--|-------------------------|
| Dedendum coefficient | [hfP*] | | 1.250 |
| Root radius factor | [rhofP*] | | 0.300 (rhofPmax*=0.472) |
| Addendum coefficient | [haP*] | | 1.000 |
| Tip radius factor | [rhoaP*] | | 0.000 |
| Protuberance height coefficient | [hprP*] | | 0.000 |
| Protuberance angle | [alfprP] | | 0.000 |
| Tip form height coefficient | [hFaP*] | | 0.000 |
| Ramp angle | [alfKP] | | 0.000 |

not topping

Gear reference profile 2 :

| Reference profile | 1.25 / 0.30 / 1.0 ISO 53:1998 Profil B | | |
|---------------------------------|--|--|-------------------------|
| Dedendum coefficient | [hfP*] | | 1.250 |
| Root radius factor | [rhofP*] | | 0.300 (rhofPmax*=0.472) |
| Addendum coefficient | [haP*] | | 1.000 |
| Tip radius factor | [rhoaP*] | | 0.000 |
| Protuberance height coefficient | [hprP*] | | 0.000 |
| Protuberance angle | [alfprP] | | 0.000 |
| Tip form height coefficient | [hFaP*] | | 0.000 |
| Ramp angle | [alfKP] | | 0.000 |

not topping

Summary of reference profile gears:

| | | | |
|----------------------------------|----------|-------|-------|
| Dedendum reference profile | [hfP*] | 1.250 | 1.250 |
| Tooth root radius Refer. profile | [rofP*] | 0.300 | 0.300 |
| Addendum Reference profile | [haP*] | 1.000 | 1.000 |
| Protuberance height coefficient | [hprP*] | 0.000 | 0.000 |
| Protuberance angle (°) | [alfprP] | 0.000 | 0.000 |
| Tip form height coefficient | [hFaP*] | 0.000 | 0.000 |
| Ramp angle (°) | [alfKP] | 0.000 | 0.000 |

| | | | |
|-------------------------------|------------------------|-----|-----|
| Type of profile modification: | none (only running-in) | | |
| Tip relief (μm) | [Ca] | 2.0 | 2.0 |

No modification at tip circle

Lubrication type Oil injection lubrication

| | | | |
|---|---------------------------|--------|--|
| Type of oil | Oil: Klüberoil GEM 1-68 N | | |
| Lubricant base | Mineral-oil base | | |
| Kinem. viscosity oil at 40 °C (mm ² /s) | [nu40] | 68.00 | |
| Kinem. viscosity oil at 100 °C (mm ² /s) | [nu100] | 9.00 | |
| Specific density at 15 °C (kg/dm ³) | [roOil] | 0.880 | |
| Oil temperature (°C) | [TS] | 70.000 | |

| | | ----- GEAR 1 ----- | GEAR 2 ----- |
|--|-------------------|--------------------|--------------|
| Overall transmission ratio | [itot] | | -1.000 |
| Gear ratio | [u] | | 1.000 |
| Outer spiral angle (°) | [bete] | 48.5657 | 48.5657 |
| Mean spiral angle (°) | [betm] | 38.0000 | 38.0000 |
| Inner spiral angle (°) | [beti] | 28.1659 | 28.1659 |
| Pinion offset angle in axial plane (°) | [zetm] | | 0.0000 |
| Pinion offset angle in pitch plane (°) | [zetmp] | | 0.0000 |
| Offset in pitch plane (mm) | [ap] | | 0.000 |
| Outer normal module (mm) | [men] | | 9.0992 |
| Outer transverse module (mm) | [met] | 13.7500 | 13.7500 |
| Mean normal module (mm) | [mmn] | | 8.9546 |
| Mean transverse module (mm) | [mmt] | 11.3635 | 11.3635 |
| Inner normal module (mm) | [min] | | 7.9140 |
| Inner transverse module (mm) | [mit] | 8.9770 | 8.9770 |
| Sum of profile shift coefficients | [xhm1+xhm2] | | 0.0000 |
| Profile shift coefficient | [xhm] | 0.0000 | 0.0000 |
| Undercut boundary | [xhmmin] | -1.4244 | -1.4244 |
| Tooth thickness modification coefficient | [xsmn] | 0.0000 | -0.0000 |
| Outer pitch diameter (mm) | [de] | 220.000 | 220.000 |
| Outer tip diameter (mm) | [dae] | 232.664 | 232.664 |
| Outer root diameter (mm) | [dfe] | 204.170 | 204.170 |
| Mean pitch diameter (mm) | [dm] | 181.816 | 181.816 |
| Mean tip diameter (mm) | [dam] | 194.480 | 194.480 |
| Mean root diameter (mm) | [dfm] | 165.987 | 165.987 |
| Inner pitch diameter (mm) | [di] | 143.632 | 143.632 |
| Inner tip diameter (mm) | [dai] | 156.296 | 156.296 |
| Inner root diameter (mm) | [dfi] | 127.803 | 127.803 |
| Addendum (mm) | [hae] | 8.955 | 8.955 |
| (mm) | [ham] | 8.955 | 8.955 |
| (mm) | [hai] | 8.955 | 8.955 |
| Dedendum (mm) | [hfe] | 11.193 | 11.193 |
| (mm) | [hfm] | 11.193 | 11.193 |
| (mm) | [hfi] | 11.193 | 11.193 |
| Tooth height (mm) | [he] | 20.148 | 20.148 |
| (mm) | [hm] | 20.148 | 20.148 |
| (mm) | [hi] | 20.148 | 20.148 |
| Working depth (mm) | [whe] | | 17.909 |
| (mm) | [whm] | | 17.909 |
| (mm) | [whi] | | 17.909 |
| Tip clearance (mm) | [ce] | 2.239 | 2.239 |
| (mm) | [cm] | 2.239 | 2.239 |
| (mm) | [ci] | 2.239 | 2.239 |
| Outer cone distance (mm) | [Re] | 155.563 | 155.563 |
| Mean cone distance (mm) | [Rm] | 128.563 | 128.563 |
| Inner cone distance (mm) | [Ri] | 101.563 | 101.563 |
| Pitch angle (°) | [delta] | 45.0000 | 45.0000 |
| Face angle (°) | [dela] | 45.0000 | 45.0000 |
| Addendum angle (°) | [thea=dela-delta] | 0.0000 | 0.0000 |

| | | | |
|--|-------------------|---------------|---------------|
| Root angle (°) | [delf] | 45.0000 | 45.0000 |
| Dedendum angle (°) | [thef=delta-delf] | 0.0000 | 0.0000 |
| Distance along axis to crossing point (mm) | [txo] | 103.668 | 103.668 |
| | (mm) [txi] | 65.484 | 65.484 |
| Distance apex to crossing point (mm) | [tz] | 0.000 | 0.000 |
| | (mm) [tzF] | 12.664 | 12.664 |
| | (mm) [tzR] | -15.830 | -15.830 |
| Distance in axial direction to the cone tip (mm) | [ye] | 110.000 | 110.000 |
| | (mm) [yae] | 103.668 | 103.668 |
| | (mm) [yai] | 65.484 | 65.484 |
| Theoretical tip clearance (mm) | [c] | 2.239 | 2.239 |
| Effective tip clearance (mm) | [c.e/i] | 2.239 / 2.249 | 2.239 / 2.249 |

***** Virtual cylindrical gear toothling *****

| | | | |
|---|----------------|------------------|------------------|
| Normal module (mm) | [mn] | 8.9546 | |
| Transverse module (mm) | [mtv] | 11.3635 | |
| Pressure angle at normal section (°) | [alfvn] | 20.0000 | |
| Pressure angle at pitch circle (°) | [alfvt] | 24.7915 | |
| Helix angle at reference circle (°) | [betv] | 38.0000 | |
| Base helix angle (°) | [betvb] | 35.3474 | |
| Virtual centre distance (mm) | [av] | 257.127 | |
| Working transverse pressure angle (°) | [alfvwt] | 24.7915 | |
| Number of teeth | [zv] | 22.627 | 22.627 |
| Gear ratio | [uv] | 1.000 | |
| Generating Profile shift coefficient | [xvE.e/i] | -0.0146/ -0.0222 | -0.0146/ -0.0222 |
| Theoretical tip clearance (mm) | [c] | 2.239 | 2.239 |
| Effective tip clearance (mm) | [c.e/i] | 2.239 / 2.249 | 2.239 / 2.249 |
| Reference diameter (mm) | [dv] | 257.127 | 257.127 |
| Base diameter (mm) | [dvb] | 233.430 | 233.430 |
| Tip diameter (mm) | [dva] | 275.036 | 275.036 |
| Tip form diameter (mm) | [dvFa] | 275.036 | 275.036 |
| Active tip diameter (mm) | [dvNa] | 275.036 | 275.036 |
| Operating pitch diameter (mm) | [dvw] | 257.127 | 257.127 |
| Root diameter (mm) | [dvf] | 234.741 | 234.741 |
| Root form diameter (mm) | [dvFf] | 241.746 | 241.746 |
| Active root diameter (mm) | [dvNf] | 243.754 | 243.754 |
| Reserve (dNf-dFf)/2 (mm) | [cF] | 1.004 | 1.004 |
| Normal tooth thickness at tip circle (mm) | [svan] | 6.911 | 6.911 |
| Normal-tooth thickness on tip form circle (mm) | [svFan] | 6.911 | 6.911 |
| Virtual gear no. of teeth | [zvn] | 43.160 | 43.160 |
| Maximum sliding speed at tip (m/s) | [vga] | 0.279 | 0.279 |
| Pitch on reference circle (mm) | [pvt] | 35.700 | |
| Base pitch (mm) | [pvbt] | 32.409 | |
| Transverse pitch on contact-path (mm) | [pvet] | 32.409 | |
| Length of path of contact (mm) | [gva] | 37.631 | |
| Virtual cylindrical gear toothling (ISO 10300:2001, Annex A): | | | |
| Referenced to facewidth | [bveff] | 54.000 | |
| Transverse contact ratio | [epsva] | 1.161 | |
| Overlap ratio | [epsvb] | 1.182 | |
| Total contact ratio | [epsvg] | 1.657 | |
| (DIN 3991: epsva = | 1.161, epsvb = | 1.005, epsvg = | 2.166) |
| Characteristic values for sizing | [Re2/b2] | 2.881 | |
| | [b2/mmn] | 6.030 | |

2. FACTORS OF GENERAL INFLUENCE

| | ----- GEAR 1 ----- | GEAR 2 ----- | |
|---|--------------------|--------------|---------|
| Nominal circum. force at pitch circle (N) | [Fmt] | 1100.0 | 1100.0 |
| | | Drive side | |
| Axial force (N) | [Fa] | 967.0 | -248.4 |
| Radial force (N) | [Fr] | -248.4 | 967.0 |
| Normal force (N) | [Fnorm] | 1485.5 | 1485.5 |
| Axial force (%) | [Fa/Ft] | 87.905 | -22.585 |
| Radial force (%) | [Fr/Ft] | -22.585 | 87.905 |
| Remarks: | | | |
| Forces if rotation goes in opposite direction (coast side): | | | |
| Axial force (N) | [Fa] | -248.4 | 967.0 |
| Radial force (N) | [Fr] | 967.0 | -248.4 |
| Normal force (N) | [Fnorm] | 1485.5 | 1485.5 |
| Axial force (%) | [Fa/Ft] | -22.585 | 87.905 |
| Radial force (%) | [Fr/Ft] | 87.905 | -22.585 |
| Tangent.load at p.c.d.per mm (N/mm) (N/mm) | [w] | | 23.97 |
| Circumferential speed reference circle (m/s) | [v] | 0.95 | 0.95 |
| Singular tooth stiffness (N/mm* μ m) | [c'] | 4.19 | |
| Meshing stiffness (N/mm* μ m) | [cg] | 5.99 | |
| Single pitch deviation (μ m) | [fp] | 15.00 | 15.00 |
| Running-in value y.a (μ m) | [ya] | | 1.13 |
| Profile form deviation (μ m) | [ff] | 0.00 | 0.00 |
| Reduced mass (kg/mm) | [mRed] | | 0.015 |
| Resonance speed (min-1) | [nE1] | | 11801 |
| Resonance ratio (-) | [N] | | 0.008 |
| Subcritical range | | | |
| Dynamic factor | [KV] | | 1.01 |
| Mounting factor | [KHbbe] | | 1.25 |
| Face load factor - flank | [KHb] | | 1.88 |
| - Tooth root | [KFb] | | 1.88 |
| - Scuffing | [KBb] | | 1.88 |
| Transverse load factor - flank | [KHa] | | 1.51 |
| - Tooth root | [KFa] | | 1.51 |
| - Scuffing | [KBa] | | 1.51 |
| Helical load factor scuffing | [Kbg] | | 1.14 |
| Number of load cycles (in mio.) | [NL] | 24.000 | 24.000 |

3. TOOTH ROOT STRENGTH

| | ----- GEAR 1 ----- | GEAR 2 ----- |
|--|--------------------|--------------|
| Calculation of Tooth form coefficients according method: C | | |
| Manufacture process: generated | | |
| Calculated with profile shift | [x] | 0.00 |
| Tooth form factor | [YF] | 2.41 |
| Stress correction factor | [YS] | 1.73 |
| Bending moment arm (mm) | [hF] | 17.21 |

| | | | |
|--|------------------------|--------|--------|
| Force application angle (deg) | [alfh] | 25.12 | 25.12 |
| Tooth thickness at root (mm) | [sFn] | 19.25 | 19.25 |
| Tooth root radius (mm) | [roF] | 4.20 | 4.20 |
| (hF* = 1.922/ 1.922 sFn* = 2.149/ 2.149 roF* = 0.469/ 0.469) | | | |
| Contact ratio factor | [Yeps] | | 0.68 |
| Helix angle factor | [Ybet] | | 0.75 |
| Effective facewidth (mm) | [b] | 45.90 | 45.90 |
| Bevel gear factor (root) | [YK] | | 1.000 |
| Nominal stress at tooth root (N/mm ²) | [sigF0] | 5.69 | 5.69 |
| Tooth root stress (N/mm ²) | [sigF] | 20.34 | 20.34 |
| Permissible bending stress at root of Test-gear | | | |
| Notch sensitivity factor | [YdrelT] | 0.998 | 0.998 |
| Surface factor | [YRrelT] | 0.957 | 0.957 |
| size factor (Tooth root) | [YX] | 0.960 | 0.960 |
| Finite life factor | [YNT] | 1.000 | 1.000 |
| | [YdrelT*YRrelT*YX*YNT] | 0.917 | 0.917 |
| Alternating bending factor (mean stress influence coefficient) | [YM] | 1.000 | 1.000 |
| Stress correction factor | [Yst] | 2.00 | |
| Yst*sigFlim (N/mm ²) | [sigFE] | 860.00 | 860.00 |
| Permissible tooth root stress (N/mm ²) | [sigFP] | 788.67 | 788.67 |
| Required safety | [SFmin] | 1.40 | 1.40 |

4. SAFETY AGAINST PITTING (TOOTH FLANK)

| | | ----- GEAR 1 ----- | GEAR 2 ----- |
|--|----------------|--------------------|--------------|
| Zone factor | [ZH] | | 2.07 |
| Elasticity factor ($\sqrt{N/mm^2}$) | [ZE] | | 189.81 |
| Contact ratio factor | [Zeps] | | 0.928 |
| Helix angle factor | [Zbet] | | 0.888 |
| Bevel gear factor (flank) | [ZK] | | 0.850 |
| Nominal contact stress (N/mm ²) | [sigH0] | | 118.80 |
| Effective contact stress (N/mm ²) | [sigH] | | 224.57 |
| Lubrication coefficient at NL | [ZL] | 0.946 | 0.946 |
| Speed coefficient at NL | [ZV] | 0.954 | 0.954 |
| Roughness coefficient at NL | [ZR] | 0.988 | 0.988 |
| Material pairing coefficient at NL | [ZW] | 1.000 | 1.000 |
| Finite life factor | [ZNT] | 1.057 | 1.057 |
| | [ZL*ZV*ZR*ZNT] | 0.942 | 0.942 |
| Limited pitting is permitted: | No | | |
| Size factor (flank) | [ZX] | 1.000 | 1.000 |
| Permissible contact stress (N/mm ²) | [sigHP] | 1412.83 | 1412.83 |
| Safety factor for contact stress at operating pitch circle | | | |
| | [SHw] | 6.29 | 6.29 |
| Single tooth contact factor | [ZB/ZD] | 1.00 | 1.00 |
| Contact stress (N/mm ²) | [sigHB/D] | 224.57 | 224.57 |

5. SCUFFING LOAD CAPACITY

Calculation method according to DIN 3990:1987

| | | | |
|--|-----------|---|----|
| Lubrication coefficient (for lubrication type) | [XS] | 1.200 | |
| Scuffing test and load stage | [FZGtest] | FZG - Test A / 8.3 / 90 (ISO 14635 - 1) | 14 |

| | | | |
|---|-------------|------------------|--------|
| Relative structure coefficient (Scuffing) | [XWrelT] | 1.000 | |
| Thermal contact factor (N/mm/s ^{0.5} /K) | [BM] | 13.780 | 13.780 |
| Relevant tip relief (µm) | [Ca] | 2.00 | 2.00 |
| Optimal tip relief (µm) | [Ceff] | 4.25 | |
| Ca taken as optimal in the calculation (0=no, 1=yes) | | 0 | 0 |
| Effective facewidth (mm) | [beff] | 45.900 | |
| Applicable circumferential force/facewidth (N/mm) | [wBt] | 97.376 | |
| Angle factor (ε1:0.581, ε2:0.581) | [Xalfbet] | 1.003 | |
| Flash temperature-criteria | | | |
| Tooth mass temperature (°C) (theMB = theoil + XS*0.47*theflamax) | [theMB] | 0.00 | |
| Maximum flash temperature (°C) | [theflamax] | 0.00 | |
| Scuffing temperature (°C) | [theS] | 586.83 | |
| Coordinate gamma (point of highest temp.) [Gamma.A]=-0.349 [Gamma.E]=0.349 | [Gamma] | 0.000 | |
| Highest contact temp. (°C) | [theB] | 0.00 | |
| Geometry factor | [XB] | 0.000 | |
| Load sharing factor | [XGam] | 0.000 | |
| Dynamic viscosity (mPa*s) | [etaM] | 17.34 (70.0 °C) | |
| Coefficient of friction | [mym] | 0.058 | |
| Integral temperature-criteria | | | |
| Tooth mass temperature (°C) (theMC = theoil + XS*0.70*theflaint) | [theMC] | 71.89 | |
| Mean flash temperature (°C) | [theflaint] | 2.25 | |
| Integral scuffing temperature (°C) | [theSint] | 460.19 | |
| Flash factor (°K*N ^{-0.75} *s ^{0.5} *m ^{-0.5} *mm) | [XM] | 50.058 | |
| Contact ratio factor | [Xeps] | 0.396 | |
| Dynamic viscosity (mPa*s) | [etaOil] | 17.34 (70.0 °C) | |
| Mean coefficient of friction | [mym] | 0.058 | |
| Geometry factor | [XBE] | 0.259 | |
| Meshing factor | [XQ] | 1.000 | |
| Tip relief factor | [XCa] | 1.004 | |
| Integral tooth flank temperature (°C) | [theint] | 75.27 | |

6. ALLOWANCES FOR TOOTH THICKNESS

| | ----- GEAR 1 ----- | GEAR 2 ----- | |
|---|--------------------|-----------------|-----------------|
| Tooth thickness deviation | | DIN 3967 cd25 | DIN 3967 cd25 |
| Tooth thickness allowance (normal section) (mm) | [As.e/i] | -0.095 / -0.145 | -0.095 / -0.145 |
| The following data apply on the middle of the facewidth (ISO23509): | | | |
| Tooth thickness (chordal) in pitch diameter (mm) | [smnc] | 14.063 | 14.063 |
| (mm) | [smnc.e/i] | 13.968 / 13.918 | 13.968 / 13.918 |
| Reference chordal height from dam (mm) | [hamc] | 9.045 | 9.045 |
| Circumferential backlash (mm) | [jmt] | 0.356 / 0.233 | |
| (mm) | [jet] | 0.430 / 0.282 | |
| Normal backlash (mm) | [jmn] | 0.273 / 0.179 | |
| (mm) | [jen] | 0.277 / 0.181 | |
| Axial displacement for the predefined backlash: | | | |
| Required backlash due to axial displacement (mm) | [Delj] | 0.179 | |
| Additional backlash per gear (mm) | [Delj1,2] | 0.090 | 0.090 |
| Required axial displacement per gear (mm) | [alf1,2] | 0.174 | 0.174 |

Backlash for the predefined axial displacement:

| | | | |
|-----------------------------------|-----------|-------|-------|
| Change of assembly distance (mm) | [alf1,2] | 0.100 | 0.100 |
| Additional backlash per gear (mm) | [Delj1,2] | 0.051 | 0.051 |

7. GEAR ACCURACY

----- GEAR 1 ----- GEAR 2 --

According to DIN 3965:1986:

| | | | |
|---|-------------|-------|-------|
| Accuracy grade | [Q-DIN3965] | 6 | 6 |
| Total cumulative pitch deviation (µm) | [Fp] | 52.00 | 52.00 |
| Runout (µm) | [Fr] | 40.00 | 40.00 |
| Single flank composite, tooth-to-tooth (µm) | [fi'] | 26.00 | 26.00 |
| Single flank composite, total (µm) | [Fi'] | 60.00 | 60.00 |
| Adjacent pitch difference (µm) | [fu] | 19.00 | 19.00 |
| Single pitch deviation (µm) | [fp] | 15.00 | 15.00 |

9. MODIFICATIONS AND TOOTH FORM DEFINITION

Data for the tooth form calculation :

Data not available.

10. ADDITIONAL DATA

Input data for calculating the gear measurements according to ISO 23509:2006

Data of type 1 (according to table 3, ISO 23509:2006):
 xhm1= 0.0000 khap= 1.0000 khfp= 1.2500 xsmn= 0.0000
 Data of type 2 (according to table 3, ISO 23509:2006):
 cham= 0.5000 kd= 2.0000 kc= 0.1250 kt= 0.0000

| | | |
|----------------------------------|--------|-------------|
| Coefficient of friction (Input) | [mum] | 0.070 |
| Wear sliding coef. by Niemann | [zetw] | 0.601 |
| Gear power loss (kW) | [PVZ] | 0.010 |
| Meshing efficiency (%) | [etaz] | 99.003 |
| Weight - calculated with da (kg) | [Mass] | 8.995 8.150 |

Classification according to F.E.M. (Edition 1.001, 1998)

| | | |
|---|------|-------|
| Spectrum factor | [km] | 0.345 |
| Spectrum class | [L] | 3 |
| Application class (predefined service life) | [T] | 5 |
| Machine class (predefined service life) | [M] | 8 |
| Application class (achievable service life) | [T] | 9 |
| Machine class (achievable service life) | [M] | 8 |

11. SERVICE LIFE, DAMAGE

Calculation with load spectrum

| | | |
|---------------------------------|---------|------|
| Required safety for tooth root | [SFmin] | 1.40 |
| Required safety for tooth flank | [SHmin] | 1.00 |

Service life (calculated with required safeties):

| | | | |
|-----------------------------|---------|--------|---------|
| System service life (h) | [Hatt] | > | 1000000 |
| Tooth root service life (h) | [HFatt] | 1e+006 | 1e+006 |

Tooth flank service life (h) [HHatt] 1e+006 1e+006
 Note: The entry 1e+006 h means that the Service life > 1,000,000 h.

Damage calculated on the basis of the required service life [H] (4000.0 h)

| No. | F1% | F2% | H1% | H2% |
|-------|------|------|------|------|
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| ----- | | | | |
| Σ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Most critical duty cycle elements for Scoring (SB, Sint), Tooth Flank Fracture (SFF), hardened layer (SEHT) and Micropitting (Slam)

REMARKS:

- Specifications with [.e/i] imply: Maximum [e] and Minimal value [i] with consideration of all tolerances
 Specifications with [.m] imply: Mean value within tolerance
- Positive sign set for the apexes (tzF,tzR) means: Apex before the centerline. According to ISO 23509.

End of Report

lines: 525

O.GroupBox.Shaft1.ShaftCalc1

KISSsoft Release 03/2017 E

KISSsoft - student license (not for commercial use)

File

Name : Unnamed

Changed by: SFin on: 08.05.2018 at: 21:25:21

Important hint: At least one warning has occurred during the calculation:

1-> [Nominal Power] Shaft 'Shaft1':
the sum of torques is not zero.
 $\Delta T = 200.000 \text{ Nm}$

2-> The speed limit of the bearing 'Shaft 'Shaft1', Rolling bearing 'Bearing1' is not known (in the database).

Verify the speed limit in the regulations given by the manufacturer.

3-> The speed limit of the bearing 'Shaft 'Shaft1', Rolling bearing 'Bearing4' is not known (in the database).

Verify the speed limit in the regulations given by the manufacturer.

Analysis of shafts, axle and beams

Input data

Coordinate system shaft: see picture W-002

| Label | Shaft1 |
|--|------------|
| Drawing | |
| Initial position (mm) | 0.000 |
| Length (mm) | 329.000 |
| Speed (1/min) | 100.00 |
| Sense of rotation: clockwise | |
| Material | C45 (1) |
| Young's modulus (N/mm ²) | 206000.000 |
| Poisson's ratio nu | 0.300 |
| Density (kg/m ³) | 7830.000 |
| Coefficient of thermal expansion (10 ⁻⁶ /K) | 11.500 |
| Temperature (°C) | 20.000 |
| Temperature for load spectrum | |
| No. Temperature (°C) | |
| 1 | 20.000 |
| 2 | 20.000 |
| 3 | 20.000 |
| Weight of shaft (kg) | 18.102 |
| Weight of shaft, including additional masses (kg) | 18.102 |
| Mass moment of inertia (kg*m ²) | 0.022 |
| Momentum of mass GD2 (Nm ²) | 0.860 |

The direction of the weight is not considered
Consider deformations due to shearing

Shear correction coefficient 1.100
 Rolling bearing stiffness is calculated from inner bearing geometry
 Tolerance field: Mean value
 Reference temperature (°C) 20.000

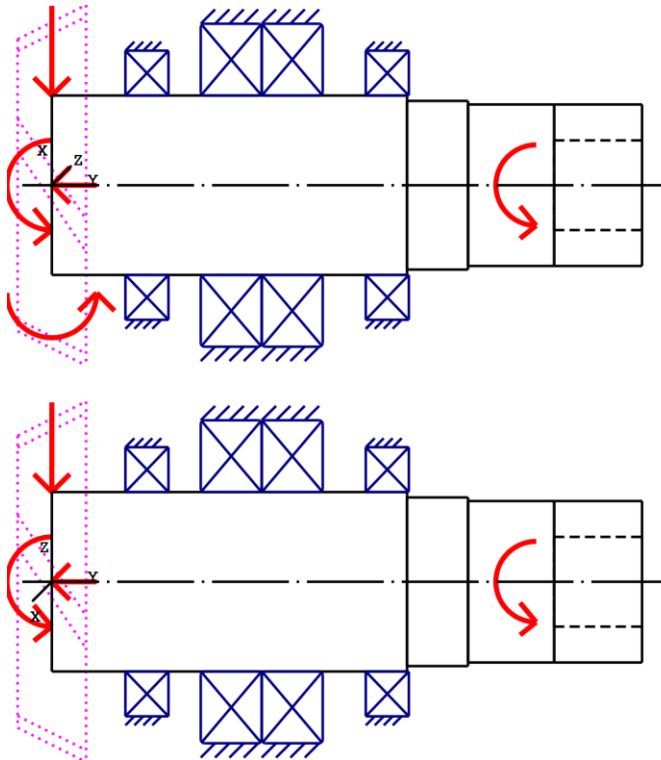


Figure: Load applications

Shaft definition (Shaft1)

Outer contour

| Cylinder (Zylinder) | | | 0.000mm ... 198.000mm |
|------------------------|------|----------|-----------------------|
| Diameter (mm) | [d] | 100.0000 | |
| Length (mm) | [l] | 198.0000 | |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | 8.0000 | |

| Cylinder (Cylinder) | | | 198.000mm ... 232.000mm |
|------------------------|------|---------|-------------------------|
| Diameter (mm) | [d] | 94.0000 | |
| Length (mm) | [l] | 34.0000 | |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | 8.0000 | |

| Cylinder (Cylinder) | | | 232.000mm ... 329.000mm |
|------------------------|------|---------|-------------------------|
| Diameter (mm) | [d] | 90.0000 | |
| Length (mm) | [l] | 97.0000 | |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | 8.0000 | |

Radius left (Radius left)

r=2.00 (mm), Rz=8.0, Turned (Ra=3.2µm/125µin)

Inner contour

| Cylinder inside (Cylinder inside) | | | 0.000mm ... | 280.000mm |
|-----------------------------------|------|--|-------------|-----------|
| Diameter (mm) | [d] | | 0.0000 | |
| Length (mm) | [l] | | 280.0000 | |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | | 8.0000 | |

| Cylinder inside (Cylinder inside) | | | 280.000mm ... | 329.000mm |
|-----------------------------------|------|--|---------------|-----------|
| Diameter (mm) | [d] | | 50.0000 | |
| Length (mm) | [l] | | 49.0000 | |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | | 8.0000 | |

Forces

| Type of force element | Bevel gear | | |
|--|----------------------------|--------------|----------|
| Label in the model | BevelGear1(GearPairConst1) | | |
| Position on shaft (mm) | [y _{local}] | 0.0000 | |
| Position in global system (mm) | [y _{global}] | 0.0000 | |
| Coast flank is active. | | | |
| Operating pitch diameter (mm) | 181.8162 | | |
| Helix angle (°) | 38.0000 right | | |
| Pitch angle (°) | 45.0000 Tip to the left | | |
| Working pressure angle at normal section (°) | 20.0000 | | |
| Position of contact (°) | 0.0000 | | |
| Facewidth (mm) | 54.0000 | | |
| Power (kW) | 1.0472 | | |
| Torque (Nm) | 100.0000 | | |
| Axial force (load spectrum) (N) | 38678.8102 / | 25595.7027 / | 174.0546 |
| Shearing force X (load spectrum) (N) | 9937.5282 / | 6576.1593 / | 44.7189 |
| Shearing force Z (Load spectrum) (N) | 44000.4800 / | 29117.3176 / | 198.0022 |
| Bending moment X (Load spectrum) (Nm) | -0.0000 / | -0.0000 / | -0.0000 |
| Bending moment Z (Load spectrum) (Nm) | 3516.2171 / | 2326.8567 / | 15.8230 |
| Load spectrum, driven (input) | | | |

| No. | Frequency (%) | Speed (1/min) | Power (kW) | Torque (Nm) |
|-----|---------------|---------------|------------|-------------------|
| 1 | | 2.0000e+001 | 160.000 | -67.021 -4000.000 |
| 2 | | 5.0000e+001 | 242.000 | -67.081 -2647.000 |
| 3 | | 3.0000e+001 | 3000.000 | -5.655 -18.000 |

| Type of force element | Coupling | | |
|--|------------------------|-----------|---------|
| Label in the model | Coupling1(Vstup) | | |
| Position on shaft (mm) | [y _{local}] | 270.0000 | |
| Position in global system (mm) | [y _{global}] | 270.0000 | |
| Effective diameter (mm) | 100.0000 | | |
| Radial force factor (-) | 0.0000 | | |
| Direction of the radial force (°) | 180.0000 | | |
| Axial force factor (-) | 0.0000 | | |
| Length of load application (mm) | 50.0000 | | |
| Power (kW) | 1.0472 | | |
| Torque (Nm) | 100.0000 | | |
| Axial force (load spectrum) (N) | 0.0000 / | 0.0000 / | 0.0000 |
| Shearing force X (load spectrum) (N) | -0.0000 / | -0.0000 / | -0.0000 |
| Shearing force Z (Load spectrum) (N) | 0.0000 / | 0.0000 / | 0.0000 |
| Mass (kg) | 0.0000 | | |
| Mass moment of inertia Jp (kg*m ²) | 0.0000 | | |

| | |
|---|--------|
| Mass moment of inertia Jxx (kg*m ²) | 0.0000 |
| Mass moment of inertia Jzz (kg*m ²) | 0.0000 |
| Eccentricity (mm) | 0.0000 |
| Load spectrum, driven (input) | |

| No. | Frequency (%) | Speed (1/min) | Power (kW) | Torque (Nm) |
|-----|---------------|---------------|------------|----------------|
| 1 | | 2.0000e+001 | 160.000 | 67.0214000.000 |
| 2 | | 5.0000e+001 | 242.000 | 67.0812647.000 |
| 3 | | 3.0000e+001 | 13000.000 | 5.655 18.000 |

Bearing

| | |
|--------------------|---|
| Label in the model | Bearing1 |
| Bearing type | FAG NU1020-XL-M1 |
| Bearing type | Cylindrical roller bearing (single row) |
| | X-life |

| | | |
|------------------------------------|------------------------|--------------|
| Bearing position (mm) | [Y _{lokal}] | 187.000 |
| Bearing position (mm) | [Y _{global}] | 187.000 |
| Attachment of external ring | | Free bearing |
| Inner diameter (mm) | [d] | 100.000 |
| External diameter (mm) | [D] | 150.000 |
| Width (mm) | [b] | 24.000 |
| Corner radius (mm) | [r] | 0.000 |
| Number of rolling bodies | [Z] | 11 |
| Rolling body reference circle (mm) | [D _{pw}] | 120.825 |
| Diameter rolling body (mm) | [D _w] | 15.607 |
| Rolling body length (mm) | [L _{we}] | 20.525 |
| Diameter, external race (mm) | [d _o] | 136.466 |
| Diameter, internal race (mm) | [d _i] | 105.184 |

Calculation with approximate bearings internal geometry (*)

| | | |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Bearing clearance | | DIN 620:1988 C0 (67.50 μm) |
| Basic static load rating (kN) | [C ₀] | 135.000 |
| Basic dynamic load rating (kN) | [C] | 116.000 |
| Fatigue load rating (kN) | [C _u] | 17.300 |
| Values for approximated geometry: | | |
| Basic dynamic load rating (kN) | [C _{theo}] | 116.024 |
| Basic static load rating (kN) | [C _{0theo}] | 135.014 |

| | |
|--------------------|---|
| Label in the model | Bearing2 |
| Bearing type | SKF 7220 BECBY |
| Bearing type | Angular contact ball bearing (single row) |

| | | |
|---|------------------------|------------------------|
| Bearing position (mm) | [Y _{lokal}] | 134.000 |
| Bearing position (mm) | [Y _{global}] | 134.000 |
| Attachment of external ring | | Set fixed bearing left |
| Inner diameter (mm) | [d] | 100.000 |
| External diameter (mm) | [D] | 180.000 |
| Width (mm) | [b] | 34.000 |
| Corner radius (mm) | [r] | 2.100 |
| Number of rolling bodies | [Z] | 15 |
| Rolling body reference circle (mm) | [D _{pw}] | 140.000 |
| Diameter rolling body (mm) | [D _w] | 26.154 |
| Distance a (mm) | [a] | 76.000 |
| Diameter, external race (mm) | [d _o] | 166.460 |
| Diameter, internal race (mm) | [d _i] | 113.540 |
| Radius of curvature, external race (mm) | [r _o] | 13.861 |
| Radius of curvature, internal race (mm) | [r _i] | 13.600 |

Calculation with approximate bearings internal geometry (*)

Bearing clearance 0.00 μm

The bearing pressure angle will be considered in the calculation

Position (center of pressure) (mm) 193.0000

Basic static load rating (kN) [C₀] 122.000

Basic dynamic load rating (kN) [C] 135.000

Fatigue load rating (kN) [C_u] 4.400

Values for approximated geometry:

Basic dynamic load rating (kN) [C_{theo}] 136.140

Basic static load rating (kN) [C_{0theo}] 120.552

Label in the model

Bearing3

Bearing type

SKF 7220 BECBY

Bearing type

Angular contact ball bearing (single row)

Bearing position (mm) [y_{lokal}] 100.000

Bearing position (mm) [y_{global}] 100.000

Attachment of external ring Set fixed bearing right

Inner diameter (mm) [d] 100.000

External diameter (mm) [D] 180.000

Width (mm) [b] 34.000

Corner radius (mm) [r] 2.100

Number of rolling bodies [Z] 15

Rolling body reference circle (mm) [D_{pw}] 140.000

Diameter rolling body (mm) [D_w] 26.154

Distance a (mm) [a] 76.000

Diameter, external race (mm) [d_o] 166.460

Diameter, internal race (mm) [d_i] 113.540

Radius of curvature, external race (mm) [r_o] 13.861

Radius of curvature, internal race (mm) [r_i] 13.600

Calculation with approximate bearings internal geometry (*)

Bearing clearance 0.00 μm

The bearing pressure angle will be considered in the calculation

Position (center of pressure) (mm) 41.0000

Basic static load rating (kN) [C₀] 122.000

Basic dynamic load rating (kN) [C] 135.000

Fatigue load rating (kN) [C_u] 4.400

Values for approximated geometry:

Basic dynamic load rating (kN) [C_{theo}] 136.140

Basic static load rating (kN) [C_{0theo}] 120.552

Label in the model

Bearing4

Bearing type

FAG NU1020-XL-M1

Bearing type

Cylindrical roller bearing (single row)

X-life

Bearing position (mm) [y_{lokal}] 53.000

Bearing position (mm) [y_{global}] 53.000

Attachment of external ring Free bearing

Inner diameter (mm) [d] 100.000

External diameter (mm) [D] 150.000

Width (mm) [b] 24.000

Corner radius (mm) [r] 0.000

Number of rolling bodies [Z] 11

Rolling body reference circle (mm) [D_{pw}] 120.825

Diameter rolling body (mm) [D_w] 15.607

Rolling body length (mm) [L_{we}] 20.525

| | | |
|---|-----------------------|----------------------------|
| Diameter, external race (mm) | [d _o] | 136.466 |
| Diameter, internal race (mm) | [d] | 105.184 |
| Calculation with approximate bearings internal geometry (*) | | |
| Bearing clearance | | DIN 620:1988 C0 (67.50 μm) |
| Basic static load rating (kN) | [C ₀] | 135.000 |
| Basic dynamic load rating (kN) | [C] | 116.000 |
| Fatigue load rating (kN) | [C _u] | 17.300 |
| Values for approximated geometry: | | |
| Basic dynamic load rating (kN) | [C _{theo}] | 116.024 |
| Basic static load rating (kN) | [C _{0theo}] | 135.014 |

Results

Note: the maximum deflection and torsion of the shaft under torque, the life modification factor aISO, and the bearing's thinnest lubricant film thickness EHL, are predefined for the first load bin.

Shaft

| | |
|------------------------------|----------|
| Maximum deflection (μm) | 209.542 |
| Position of the maximum (mm) | 329.000 |
| Mass center of gravity (mm) | 150.732 |
| Total axial load (N) | -248.438 |
| Torsion under torque (°) | 0.002 |

Bearing

| | | | |
|---|-------------------|------------------------------|----|
| Probability of failure | [n] | 10.00 | % |
| Axial clearance | [u _A] | 10.00 | μm |
| Lubricant | | Grease: ISOFLEX TOPAS NCA 52 | |
| Lubricant - service temperature | [T _B] | 70.00 | °C |
| Rolling bearing stiffness calculated from internal geometry | | | |

Shaft 'Shaft1' Rolling bearing 'Bearing1'

| | | | |
|---|---------------------|-----------|--------------------|
| Position (Y-coordinate) | [y] | 187.00 | mm |
| Life modification factor for reliability[a _r] | | 1.000 | |
| Nominal bearing service life | [L _{nh}] | 83377.68 | h |
| Operating viscosity | [ν] | 11.73 | mm ² /s |
| Minimum EHL lubricant film thickness | [h _{min}] | -1.#IO | μm |
| Static safety factor | [S ₀] | 6.19 | |
| Operating bearing clearance | [Pd] | 67.500 | μm |
| Reference rating service life | [L _{nrh}] | 136961.54 | h |

Bearing reaction force

| | Fx (kN) | Fy (kN) | Fz (kN) | Fr (kN) | Mx (Nm) | My (Nm) | Mz (Nm) | Mr (Nm) |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 19.691 | 0.000 | 9.398 | 21.819 | 13.237 | 0.000 | -22.840 | 26.398 |
| 2 | 11.360 | 0.000 | 5.317 | 12.543 | 7.754 | 0.000 | -14.978 | 16.866 |
| 3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Bearing reaction moment

Displacement of bearing

| | ux (μm) | uy (μm) | uz (μm) | rr (μm) | rx (mrad) | ry (mrad) | rz (mrad) | rr (mrad) |
|---|----------|---------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | -62.7738 | 36.7583 | -31.3020 | 70.1453 | -0.686 | 0.937 | 0.723 | 0.996 |

Misalignment of bearing

| | | | | | | | | |
|---|----------|---------|----------|---------|--------|-------|-------|-------|
| 2 | -53.3461 | 26.7899 | -26.3974 | 59.5200 | -0.577 | 0.620 | 0.619 | 0.846 |
| 3 | -2.3152 | 0.0040 | -0.9608 | 2.5066 | -0.035 | 0.004 | 0.034 | 0.048 |

Shaft 'Shaft1' Rolling bearing 'Bearing2'

| | | | |
|---|--------------------------------------|-----------|--------------------|
| Position (Y-coordinate) | [y] | 134.00 | mm |
| Life modification factor for reliability[a ₁] | | 1.000 | |
| Nominal bearing service life | [L _{nh}] | 611601.92 | h |
| Operating viscosity | [v] | 11.73 | mm ² /s |
| Minimum EHL lubricant film thickness | [h _{min}] | 0.000 | μm |
| Spin to roll ratio | [ω _s /ω _{roll}] | 0.215 | |
| Static safety factor | [S ₀] | 15.76 | |
| Operating bearing clearance | [Pd] | 0.000 | μm |
| Reference rating service life | [L _{nrh}] | 566703.51 | h |

Bearing reaction force

Bearing reaction moment

| | Fx (kN) | Fy (kN) | Fz (kN) | Fr (kN) | Mx (Nm) | My (Nm) | Mz (Nm) | Mr (Nm) |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| 1 | 6.845 | 7.351 | 3.612 | 7.739 | 217.655 | 0.000 | -404.860 | 459.658 |
| 2 | 6.123 | 6.663 | 3.201 | 6.909 | 193.254 | 0.000 | -363.323 | 411.523 |
| 3 | 0.117 | 0.131 | 0.054 | 0.128 | 3.177 | 0.000 | -6.852 | 7.553 |

Displacement of bearing

Misalignment of bearing

| | ux (μm) | uy (μm) | uz (μm) | rr (μm) | rx (mrad) | ry (mrad) | rz (mrad) | rr (mrad) |
|---|----------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | -25.7970 | 36.7583 | 4.4222 | 26.1733 | -0.700 | 0.665 | 0.751 | 1.026 |
| 2 | -21.3018 | 26.7899 | 3.8525 | 21.6473 | -0.585 | 0.440 | 0.635 | 0.864 |
| 3 | -0.5315 | 0.0040 | 0.8718 | 1.0210 | -0.035 | 0.003 | 0.034 | 0.048 |

Shaft 'Shaft1' Rolling bearing 'Bearing3'

| | | | |
|---|--------------------------------------|---------|--------------------|
| Position (Y-coordinate) | [y] | 100.00 | mm |
| Life modification factor for reliability[a ₁] | | 1.000 | |
| Nominal bearing service life | [L _{nh}] | 8908.91 | h |
| Operating viscosity | [v] | 11.73 | mm ² /s |
| Minimum EHL lubricant film thickness | [h _{min}] | 0.000 | μm |
| Spin to roll ratio | [ω _s /ω _{roll}] | 0.209 | |
| Static safety factor | [S ₀] | 3.24 | |
| Operating bearing clearance | [Pd] | 0.000 | μm |
| Reference rating service life | [L _{nrh}] | 9750.10 | h |

Bearing reaction force

Bearing reaction moment

| | Fx (kN) | Fy (kN) | Fz (kN) | Fr (kN) | Mx (Nm) | My (Nm) | Mz (Nm) | Mr (Nm) |
|---|---------|---------|---------|---------|----------|---------|-----------|----------|
| 1 | -20.946 | -46.027 | -31.275 | 37.641 | 1989.169 | 0.000 | -1383.520 | 2422.999 |
| 2 | -15.208 | -32.258 | -22.576 | 27.220 | 1411.414 | 0.000 | -980.118 | 1718.348 |
| 3 | -0.161 | -0.305 | -0.252 | 0.299 | 14.789 | 0.000 | -9.478 | 17.566 |

Displacement of bearing

Misalignment of bearing

| | ux (μm) | uy (μm) | uz (μm) | rr (μm) | rx (mrad) | ry (mrad) | rz (mrad) | rr (mrad) |
|---|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | -0.8286 | 36.6038 | 27.9341 | 27.9464 | -0.732 | 0.490 | 0.816 | 1.096 |
| 2 | -0.0639 | 26.6499 | 23.5735 | 23.5736 | -0.606 | 0.324 | 0.678 | 0.910 |
| 3 | 0.6105 | 0.0012 | 2.0464 | 2.1356 | -0.035 | 0.002 | 0.034 | 0.048 |

Shaft 'Shaft1' Rolling bearing 'Bearing4'

| | | | |
|---|---------------------|----------|--------------------|
| Position (Y-coordinate) | [y] | 53.00 | mm |
| Life modification factor for reliability[a ₁] | | 1.000 | |
| Nominal bearing service life | [L _{nh}] | 28743.14 | h |
| Operating viscosity | [v] | 11.73 | mm ² /s |
| Minimum EHL lubricant film thickness | [h _{min}] | -1.#IO | μm |

| | | |
|-------------------------------|---------------------|------------|
| Static safety factor | [S ₀] | 4.49 |
| Operating bearing clearance | [Pd] | 67.500 μm |
| Reference rating service life | [L _{nrh}] | 46373.33 h |

| | Bearing reaction force | | | Bearing reaction moment | | | | |
|---|------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | F _x (kN) | F _y (kN) | F _z (kN) | F _r (kN) | M _x (Nm) | M _y (Nm) | M _z (Nm) | M _r (Nm) |
| 1 | -15.530 | 0.000 | -25.736 | 30.059 | 29.202 | 0.000 | -22.121 | 36.635 |
| 2 | -8.853 | 0.000 | -15.060 | 17.469 | 19.836 | 0.000 | -13.184 | 23.818 |
| 3 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

| | Displacement of bearing | | | Misalignment of bearing | | | | |
|---|-------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | u _x (μm) | u _y (μm) | u _z (μm) | r _r (μm) | r _x (mrad) | r _y (mrad) | r _z (mrad) | r _r (mrad) |
| 1 | 41.2470 | 37.7273 | 66.9622 | 78.6464 | -0.858 | 0.248 | 0.996 | 1.315 |
| 2 | 34.4631 | 27.3934 | 55.3747 | 65.2232 | -0.692 | 0.164 | 0.800 | 1.058 |
| 3 | 2.2314 | 0.0063 | 3.7127 | 4.3316 | -0.035 | 0.001 | 0.035 | 0.050 |

(*) Note about roller bearings with an approximated bearing geometry:

The internal geometry of these bearings has not been input in the database.

The geometry is back-calculated as specified in ISO 281, from C and C0 (details in the manufacturer's catalog).

For this reason, the geometry may be different from the actual geometry.

In some situations, this may result in significant variations in roller bearing stiffness.

| Damage (%) | [L _{req}] (4000.000) | | | | |
|------------|---------------------------------|------|-------|-------|------|
| Bin no | B1 | B2 | B3 | B4 | |
| 1 | | 2.93 | 0.14 | 19.11 | 8.52 |
| 2 | | 1.75 | 0.39 | 25.67 | 5.28 |
| 3 | | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| ----- | | | | | |
| Σ | 4.80 | 0.65 | 44.90 | 13.92 | |

| Utilization (%) | [L _{req}] (4000.000) | | | |
|-----------------|---------------------------------|-------|-------|-------|
| | B1 | B2 | B3 | B4 |
| | 40.21 | 18.70 | 76.57 | 55.34 |

Note: Utilization = (L_{req}/L_h)^(1/k)

Ball bearing: k = 3, roller bearing: k = 10/3

- B 1: Bearing1
- B 2: Bearing2
- B 3: Bearing3
- B 4: Bearing4

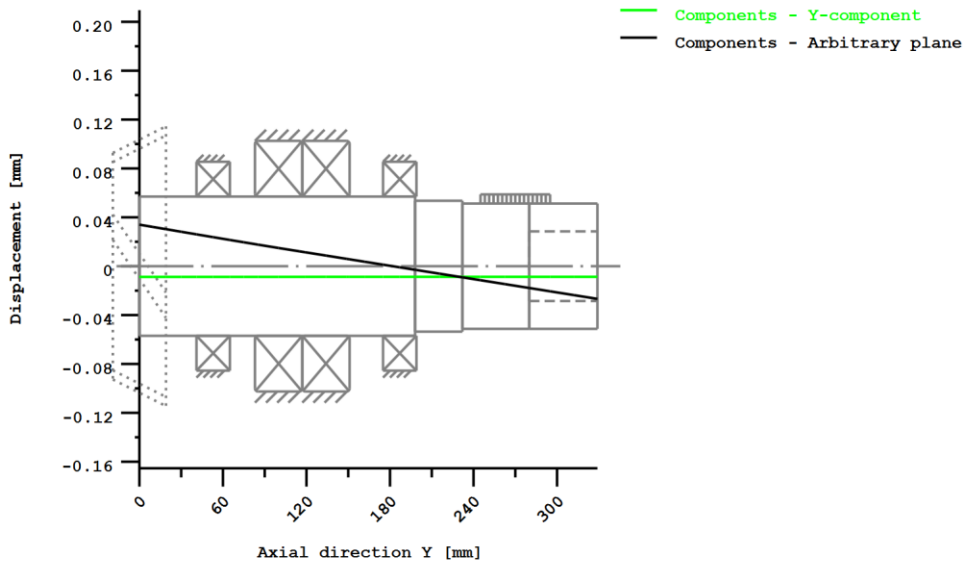
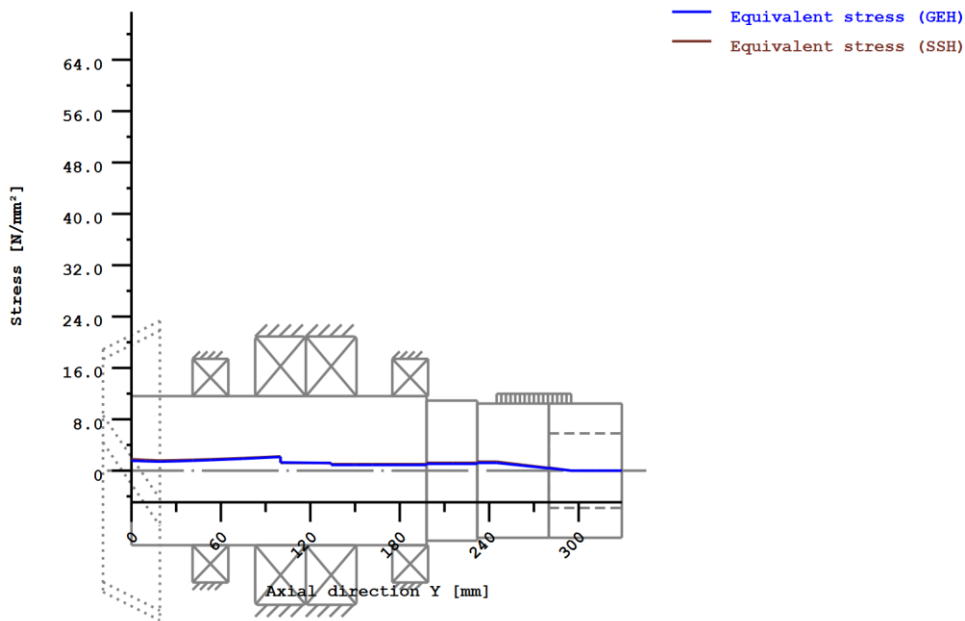


Figure: Deformation (bending etc.) (Arbitrary plane 225.2670935 121)



Nominal stresses, without taking into account stress concentrations
 GEH(von Mises): $\sigma_V = ((\sigma_B + \sigma_{Z,D})^2 + 3 \cdot (\tau_T + \tau_S)^2)^{1/2}$
 SSH(Tresca): $\sigma_V = ((\sigma_B - \sigma_{Z,D})^2 + 4 \cdot (\tau_T + \tau_S)^2)^{1/2}$

Figure: Equivalent stress

O.GroupBox.Shaft2.ShaftCalc2

KISSsoft Release 03/2017 E

KISSsoft - student license (not for commercial use)

File

Name : Unnamed

Changed by: SFin on: 08.05.2018 at: 21:25:23

Important hint: At least one warning has occurred during the calculation:

1-> [Nominal Power] Shaft 'Shaft2':

the sum of torques is not zero.

$\Delta T = 200.000 \text{ Nm}$

2-> The speed limit of the bearing 'Shaft 'Shaft2', Rolling bearing 'Bearing1' is not known (in the database).

Verify the speed limit in the regulations given by the manufacturer.

3-> The speed limit of the bearing 'Shaft 'Shaft2', Rolling bearing 'Bearing2' is not known (in the database).

Verify the speed limit in the regulations given by the manufacturer.

4-> The speed limit of the bearing 'Shaft 'Shaft2', Rolling bearing 'RollerBearing5' is not known (in the database).

Verify the speed limit in the regulations given by the manufacturer.

5-> The coefficient f2 cannot be determined with the entered values.

This is either because these values lie outside the catalog's diagram

or the bearing is of a type that is not supported.

The moment of friction M2 is set to 0.

Analysis of shafts, axle and beams

Input data

Coordinate system shaft: see picture W-002

| Label | Shaft2 |
|--|------------|
| Drawing | |
| Initial position (mm) | 0.000 |
| Length (mm) | 531.000 |
| Speed (1/min) | 100.00 |
| Sense of rotation: clockwise | |
| Material | C45 (1) |
| Young's modulus (N/mm ²) | 206000.000 |
| Poisson's ratio nu | 0.300 |
| Density (kg/m ³) | 7830.000 |
| Coefficient of thermal expansion (10 ⁻⁶ /K) | 11.500 |
| Temperature (°C) | 20.000 |
| Temperature for load spectrum | |
| No. Temperature (°C) | |
| 1 | 20.000 |

| | | |
|---|--------|--------|
| 2 | 20.000 | |
| 3 | 20.000 | |
| Weight of shaft (kg) | | 39.617 |
| Weight of shaft, including additional masses (kg) | | 39.617 |
| Mass moment of inertia (kg*m ²) | | 0.104 |
| Momentum of mass GD2 (Nm ²) | | 4.092 |

The direction of the weight is not considered

Consider deformations due to shearing

Shear correction coefficient 1.100

Rolling bearing stiffness is calculated from inner bearing geometry

Tolerance field: Mean value

Reference temperature (°C) 20.000

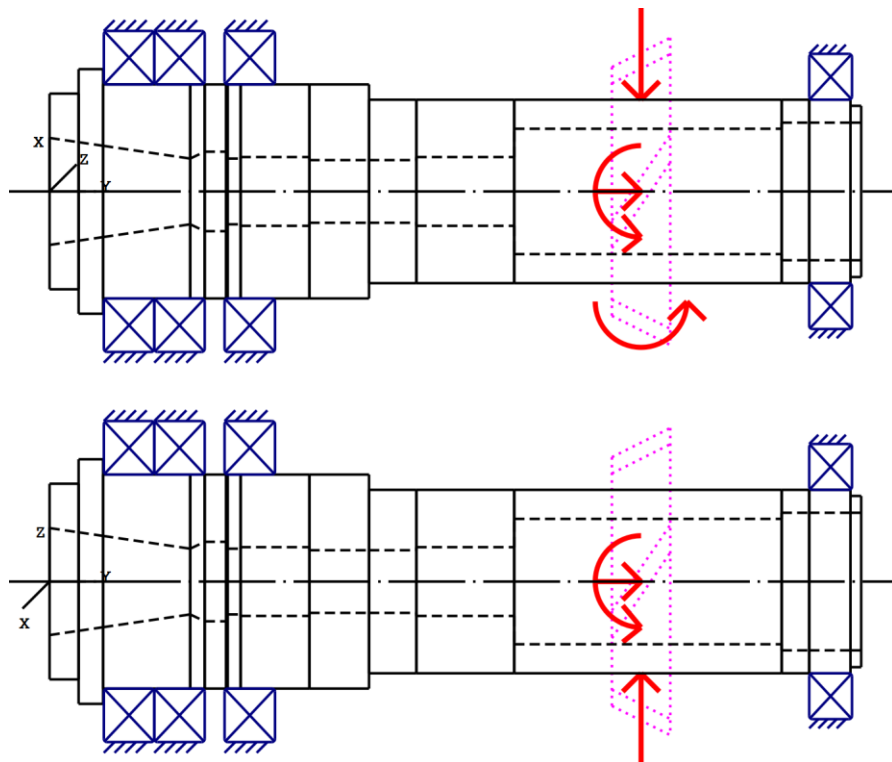


Figure: Load applications

Shaft definition (Shaft2)

Outer contour

| | | | | |
|----------------------------|------|----------|--------------|----------|
| <u>Cylinder (Zylinder)</u> | | | 0.000mm ... | 19.000mm |
| Diameter (mm) | [d] | 128.0000 | | |
| Length (mm) | [l] | 19.0000 | | |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | 8.0000 | | |
| <u>Cylinder (Cylinder)</u> | | | 19.000mm ... | 35.000mm |
| Diameter (mm) | [d] | 160.0000 | | |
| Length (mm) | [l] | 16.0000 | | |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | 8.0000 | | |

| | | | |
|----------------------------|------|----------|-------------------------------|
| <u>Cylinder (Cylinder)</u> | | | <u>35.000mm ... 209.000mm</u> |
| Diameter (mm) | [d] | 140.0000 | |
| Length (mm) | [l] | 174.0000 | |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | 8.0000 | |

| | | | |
|----------------------------|------|----------|--------------------------------|
| <u>Cylinder (Cylinder)</u> | | | <u>209.000mm ... 497.000mm</u> |
| Diameter (mm) | [d] | 120.0000 | |
| Length (mm) | [l] | 288.0000 | |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | 8.0000 | |

| | | | |
|----------------------------|------|----------|--------------------------------|
| <u>Cylinder (Cylinder)</u> | | | <u>497.000mm ... 524.000mm</u> |
| Diameter (mm) | [d] | 120.0000 | |
| Length (mm) | [l] | 27.0000 | |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | 8.0000 | |

| | | | |
|----------------------------|------|----------|--------------------------------|
| <u>Cylinder (Cylinder)</u> | | | <u>524.000mm ... 531.000mm</u> |
| Diameter (mm) | [d] | 112.0000 | |
| Length (mm) | [l] | 7.0000 | |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | 8.0000 | |

Inner contour

| | | | |
|------------------------------------|-------------------|---------|-----------------------------|
| <u>Conical bore (Conical bore)</u> | | | <u>0.000mm ... 92.000mm</u> |
| Diameter left (mm) | [d _l] | 70.0000 | |
| Diameter right (mm) | [d _r] | 43.0000 | |
| Length (mm) | [l] | 92.0000 | |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | 8.0000 | |

| | | | |
|------------------------------------|-------------------|---------|-------------------------------|
| <u>Conical bore (Conical bore)</u> | | | <u>92.000mm ... 101.500mm</u> |
| Diameter left (mm) | [d _l] | 43.0000 | |
| Diameter right (mm) | [d _r] | 52.0000 | |
| Length (mm) | [l] | 9.5000 | |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | 8.0000 | |

| | | | |
|--|------|---------|--------------------------------|
| <u>Cylinder inside (Cylinder inside)</u> | | | <u>101.500mm ... 115.500mm</u> |
| Diameter (mm) | [d] | 52.0000 | |
| Length (mm) | [l] | 14.0000 | |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | 8.0000 | |

| | | | |
|------------------------------------|-------------------|---------|--------------------------------|
| <u>Conical bore (Conical bore)</u> | | | <u>115.500mm ... 116.500mm</u> |
| Diameter left (mm) | [d _l] | 52.0000 | |
| Diameter right (mm) | [d _r] | 43.0000 | |
| Length (mm) | [l] | 1.0000 | |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | 8.0000 | |

| | | | |
|--|------|---------|--------------------------------|
| <u>Cylinder inside (Cylinder inside)</u> | | | <u>116.500mm ... 125.000mm</u> |
| Diameter (mm) | [d] | 43.0000 | |
| Length (mm) | [l] | 8.5000 | |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | 8.0000 | |

| | | | |
|--|------|---------|--------------------------------|
| <u>Cylinder inside (Cylinder inside)</u> | | | <u>125.000mm ... 170.000mm</u> |
| Diameter (mm) | [d] | 45.0000 | |
| Length (mm) | [l] | 45.0000 | |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | 8.0000 | |

| | | | |
|--|-----|---------|--------------------------------|
| <u>Cylinder inside (Cylinder inside)</u> | | | <u>170.000mm ... 240.000mm</u> |
| Diameter (mm) | [d] | 41.0000 | |

| | | |
|------------------------|------|---------|
| Length (mm) | [l] | 70.0000 |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | 8.0000 |

Cylinder inside (Cylinder inside) 240.000mm ... 304.000mm

| | | |
|------------------------|------|---------|
| Diameter (mm) | [d] | 45.0000 |
| Length (mm) | [l] | 64.0000 |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | 8.0000 |

Cylinder inside (Cylinder inside) 304.000mm ... 479.000mm

| | | |
|------------------------|------|----------|
| Diameter (mm) | [d] | 82.0000 |
| Length (mm) | [l] | 175.0000 |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | 8.0000 |

Cylinder inside (Cylinder inside) 479.000mm ... 531.000mm

| | | |
|------------------------|------|---------|
| Diameter (mm) | [d] | 90.0000 |
| Length (mm) | [l] | 52.0000 |
| Surface roughness (µm) | [Rz] | 8.0000 |

Forces

| | | | | |
|--|------------------------|----------------------------|---------------|-----------|
| Type of force element | | Bevel gear | | |
| Label in the model | | BevelGear2(GearPairConst1) | | |
| Position on shaft (mm) | [y _{local}] | 387.0000 | | |
| Position in global system (mm) | [y _{global}] | 387.0000 | | |
| Drive flank | is active. | | | |
| Operating pitch diameter (mm) | | 181.8162 | | |
| Helix angle (°) | | 38.0000 left | | |
| Pitch angle (°) | | 45.0000 Tip to the left | | |
| Working pressure angle at normal section (°) | | 20.0000 | | |
| Position of contact (°) | | -180.0000 | | |
| Facewidth (mm) | | 54.0000 | | |
| Power (kW) | | 1.0472 | | |
| Torque (Nm) | | 100.0000 | | |
| Axial force (load spectrum) (N) | | -9937.5282 / | -6576.1593 / | -44.7189 |
| Shearing force X (load spectrum) (N) | | 38678.8102 / | 25595.7027 / | 174.0546 |
| Shearing force Z (Load spectrum) (N) | | -44000.4800 / | -29117.3176 / | -198.0022 |
| Bending moment X (Load spectrum) (Nm) | | -0.0000 / | -0.0000 / | -0.0000 |
| Bending moment Z (Load spectrum) (Nm) | | 903.4018 / | 597.8261 / | 4.0653 |
| Load spectrum, driven (input) | | | | |

| No. | Frequency (%) | Speed (1/min) | Power (kW) | Torque (Nm) |
|-----|---------------|----------------------|------------|-------------|
| 1 | | 2.0000e+001-160.000 | 67.021 | -4000.000 |
| 2 | | 5.0000e+001-242.000 | 67.081 | -2647.000 |
| 3 | | 3.0000e+001-3000.000 | 5.655 | -18.000 |

| | | | | |
|---------------------------------------|------------------------|----------------------|---------------|------------|
| Type of force element | | Centric force | | |
| Label in the model | | CentricalLoad1 | | |
| Position on shaft (mm) | [y _{local}] | -140.0000 | | |
| Position in global system (mm) | [y _{global}] | -140.0000 | | |
| Length of load application (mm) | | 0.0000 | | |
| Power (kW) | | 0.0000 | | |
| Torque (Nm) | | 0.0000 | | |
| Axial force (load spectrum) (N) | | -0.0000 / | -0.0000 / | -0.0000 |
| Shearing force X (load spectrum) (N) | | -0.0000 / | -0.0000 / | -0.0000 |
| Shearing force Z (Load spectrum) (N) | | -40000.0000 / | -26470.0000 / | -1565.0000 |
| Bending moment X (Load spectrum) (Nm) | | -0.0000 / | -0.0000 / | -0.0000 |
| Bending moment Z (Load spectrum) (Nm) | | -0.0000 / | -0.0000 / | -0.0000 |
| Load spectrum: | | | | |

| No. | Frequency (%) | Speed (1/min) | Power (%) | Torque (%) | Force (%) | |
|-----|---------------|---------------|-----------|------------|------------|------------|
| 1 | | 2.0000e+001 | -160.000 | 64000.000 | -40000.000 | -40000.000 |
| 2 | | 5.0000e+001 | -242.000 | 64057.400 | -26470.000 | -26470.000 |
| 3 | | 3.0000e+001 | -3000.000 | 46950.000 | -1565.000 | -1565.000 |

| Type of force element | Coupling | | |
|---|------------------------|-----------|-----------------|
| Label in the model | Coupling2(vystup) | | |
| Position on shaft (mm) | [y _{local}] | -140.0000 | |
| Position in global system (mm) | [y _{global}] | -140.0000 | |
| Effective diameter (mm) | | 75.0000 | |
| Radial force factor (-) | | 0.0000 | |
| Direction of the radial force (°) | | 0.0000 | |
| Axial force factor (-) | | 0.0000 | |
| Length of load application (mm) | | 15.0000 | |
| Power (kW) | | 1.0472 | |
| Torque (Nm) | | 100.0000 | |
| Axial force (load spectrum) (N) | | 0.0000 / | 0.0000 / 0.0000 |
| Shearing force X (load spectrum) (N) | | 0.0000 / | 0.0000 / 0.0000 |
| Shearing force Z (Load spectrum) (N) | | 0.0000 / | 0.0000 / 0.0000 |
| Mass (kg) | | 0.0000 | |
| Mass moment of inertia J _p (kg*m ²) | | 0.0000 | |
| Mass moment of inertia J _{xx} (kg*m ²) | | 0.0000 | |
| Mass moment of inertia J _{zz} (kg*m ²) | | 0.0000 | |
| Eccentricity (mm) | | 0.0000 | |
| Load spectrum, driven (input) | | | |

| No. | Frequency (%) | Speed (1/min) | Power (kW) | Torque (Nm) | |
|-----|---------------|---------------|------------|-----------------|--------|
| 1 | | 2.0000e+001 | -160.000 | -67.0214000.000 | |
| 2 | | 5.0000e+001 | -242.000 | -67.0812647.000 | |
| 3 | | 3.0000e+001 | -3000.000 | -5.655 | 18.000 |

| Type of force element | Eccentric force | | |
|--|------------------------|---------------|--------------------------|
| Label in the model | EccentricLoad1 | | |
| Position on shaft (mm) | [y _{local}] | -140.0000 | |
| Position in global system (mm) | [y _{global}] | -140.0000 | |
| Center point of load application, X-coordinate (mm) | | 100.0000 | |
| Center point of load application, Z -coordinate (mm) | | 0.0000 | |
| Length of load application (mm) | | 0.0000 | |
| Power (kW) | | 0.0000 | |
| Torque (Nm) | | 0.0000 | |
| Axial force (load spectrum) (N) | | -0.0000 / | -0.0000 / -0.0000 |
| Shearing force X (load spectrum) (N) | | -32000.0000 / | -21176.0000 / -1252.0000 |
| Shearing force Z (Load spectrum) (N) | | -0.0000 / | -0.0000 / -0.0000 |
| Bending moment X (Load spectrum) (Nm) | | -0.0000 / | -0.0000 / -0.0000 |
| Bending moment Z (Load spectrum) (Nm) | | -0.0000 / | -0.0000 / -0.0000 |
| Load spectrum: | | | |

| No. | Frequency (%) | Speed (1/min) | Power (%) | Torque (%) | Force (%) | |
|-----|---------------|---------------|-----------|------------|------------|------------|
| 1 | | 2.0000e+001 | -160.000 | 51200.000 | -32000.000 | -32000.000 |
| 2 | | 5.0000e+001 | -242.000 | 51245.920 | -21176.000 | -21176.000 |
| 3 | | 3.0000e+001 | -3000.000 | 37560.000 | -1252.000 | -1252.000 |

| Type of force element | Eccentric force | | |
|---|------------------------|-----------|--|
| Label in the model | EccentricLoad2 | | |
| Position on shaft (mm) | [y _{local}] | -140.0000 | |
| Position in global system (mm) | [y _{global}] | -140.0000 | |
| Center point of load application, X-coordinate (mm) | | 100.0000 | |

| | | | |
|--|--------------|--------------|----------|
| Center point of load application, Z -coordinate (mm) | 0.0000 | | |
| Length of load application (mm) | 0.0000 | | |
| Power (kW) | 0.0000 | | |
| Torque (Nm) | 0.0000 | | |
| Axial force (load spectrum) (N) | 24000.0000 / | 15882.0000 / | 939.0000 |
| Shearing force X (load spectrum) (N) | 0.0000 / | 0.0000 / | 0.0000 |
| Shearing force Z (Load spectrum) (N) | 0.0000 / | 0.0000 / | 0.0000 |
| Bending moment X (Load spectrum) (Nm) | 0.0000 / | 0.0000 / | 0.0000 |
| Bending moment Z (Load spectrum) (Nm) | 2400.0000 / | 1588.2000 / | 93.9000 |
| Load spectrum: | | | |

| No. | Frequency (%) | Speed (1/min) | Power (%) | Torque (%) | Force (%) |
|-----|---------------|---------------|-----------|------------|---------------------|
| 1 | | 2.0000e+001 | -160.000 | -38400.000 | 24000.000 24000.000 |
| 2 | | 5.0000e+001 | -242.000 | -38434.440 | 15882.000 15882.000 |
| 3 | | 3.0000e+001 | -3000.000 | -28170.000 | 939.000 939.000 |

Bearing

| | |
|--------------------|---|
| Label in the model | Bearing1 |
| Bearing type | SKF 7028 ACD/HCP4A |
| Bearing type | Angular contact ball bearing (single row) |

| | | |
|---|------------------------|-------------------------|
| Bearing position (mm) | [y _{lokal}] | 52.000 |
| Bearing position (mm) | [y _{global}] | 52.000 |
| Attachment of external ring | | Set fixed bearing right |
| Inner diameter (mm) | [d] | 140.000 |
| External diameter (mm) | [D] | 210.000 |
| Width (mm) | [b] | 33.000 |
| Corner radius (mm) | [r] | 2.000 |
| Number of rolling bodies | [Z] | 20 |
| Rolling body reference circle (mm) | [D _{pw}] | 175.000 |
| Diameter rolling body (mm) | [D _w] | 23.165 |
| Distance a (mm) | [a] | 57.500 |
| Diameter, external race (mm) | [d _o] | 198.273 |
| Diameter, internal race (mm) | [d _i] | 151.727 |
| Radius of curvature, external race (mm) | [r _o] | 12.277 |
| Radius of curvature, internal race (mm) | [r _i] | 12.046 |

Calculation with approximate bearings internal geometry (*)

Bearing clearance 0.00 µm

The bearing pressure angle will be considered in the calculation

Position (center of pressure) (mm) 11.0000

| | | |
|--------------------------------|-------------------|---------|
| Basic static load rating (kN) | [C ₀] | 156.000 |
| Basic dynamic load rating (kN) | [C] | 146.000 |
| Fatigue load rating (kN) | [C _u] | 5.100 |

Values for approximated geometry:

| | | |
|--------------------------------|-----------------------|---------|
| Basic dynamic load rating (kN) | [C _{theo}] | 147.141 |
| Basic static load rating (kN) | [C _{0theo}] | 154.662 |

| | |
|--------------------|---|
| Label in the model | Bearing2 |
| Bearing type | SKF 7028 ACD/HCP4A |
| Bearing type | Angular contact ball bearing (single row) |

| | | |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|
| Bearing position (mm) | [y _{lokal}] | 131.000 |
| Bearing position (mm) | [y _{global}] | 131.000 |
| Attachment of external ring | | Set fixed bearing left |
| Inner diameter (mm) | [d] | 140.000 |
| External diameter (mm) | [D] | 210.000 |

| | | |
|---|--------------------|---------|
| Width (mm) | [b] | 33.000 |
| Corner radius (mm) | [r] | 2.000 |
| Number of rolling bodies | [Z] | 20 |
| Rolling body reference circle (mm) | [D _{pw}] | 175.000 |
| Diameter rolling body (mm) | [D _w] | 23.165 |
| Distance a (mm) | [a] | 57.500 |
| Diameter, external race (mm) | [d _o] | 198.273 |
| Diameter, internal race (mm) | [d _i] | 151.727 |
| Radius of curvature, external race (mm) | [r _o] | 12.277 |
| Radius of curvature, internal race (mm) | [r _i] | 12.046 |

Calculation with approximate bearings internal geometry (*)

Bearing clearance 0.00 µm

The bearing pressure angle will be considered in the calculation

Position (center of pressure) (mm) 172.0000

| | | |
|--------------------------------|-------------------|---------|
| Basic static load rating (kN) | [C ₀] | 156.000 |
| Basic dynamic load rating (kN) | [C] | 146.000 |
| Fatigue load rating (kN) | [C _u] | 5.100 |

Values for approximated geometry:

| | | |
|--------------------------------|-----------------------|---------|
| Basic dynamic load rating (kN) | [C _{theo}] | 147.141 |
| Basic static load rating (kN) | [C _{0theo}] | 154.662 |

Label in the model RollerBearing5
 Bearing type SKF 7028 ACD/HCP4A
 Bearing type Angular contact ball bearing (single row)

| | | |
|---|------------------------|-------------------------|
| Bearing position (mm) | [y _{lokal}] | 85.000 |
| Bearing position (mm) | [y _{global}] | 85.000 |
| Attachment of external ring | | Set fixed bearing right |
| Inner diameter (mm) | [d] | 140.000 |
| External diameter (mm) | [D] | 210.000 |
| Width (mm) | [b] | 33.000 |
| Corner radius (mm) | [r] | 2.000 |
| Number of rolling bodies | [Z] | 20 |
| Rolling body reference circle (mm) | [D _{pw}] | 175.000 |
| Diameter rolling body (mm) | [D _w] | 23.165 |
| Distance a (mm) | [a] | 57.500 |
| Diameter, external race (mm) | [d _o] | 198.273 |
| Diameter, internal race (mm) | [d _i] | 151.727 |
| Radius of curvature, external race (mm) | [r _o] | 12.277 |
| Radius of curvature, internal race (mm) | [r _i] | 12.046 |

Calculation with approximate bearings internal geometry (*)

Bearing clearance 0.00 µm

The bearing pressure angle will be considered in the calculation

Position (center of pressure) (mm) 44.0000

| | | |
|--------------------------------|-------------------|---------|
| Basic static load rating (kN) | [C ₀] | 156.000 |
| Basic dynamic load rating (kN) | [C] | 146.000 |
| Fatigue load rating (kN) | [C _u] | 5.100 |

Values for approximated geometry:

| | | |
|--------------------------------|-----------------------|---------|
| Basic dynamic load rating (kN) | [C _{theo}] | 147.141 |
| Basic static load rating (kN) | [C _{0theo}] | 154.662 |

Label in the model RollerBearing6
 Bearing type SKF NJ 1024 ML
 Bearing type Cylindrical roller bearing (single row)

| | | |
|-----------------------|-----------------------|---------|
| Bearing position (mm) | [y _{lokal}] | 511.000 |
|-----------------------|-----------------------|---------|

| | | |
|---|------------------------|----------------------------|
| Bearing position (mm) | [Y _{global}] | 511.000 |
| Attachment of external ring | | Free bearing |
| Inner diameter (mm) | [d] | 120.000 |
| External diameter (mm) | [D] | 180.000 |
| Width (mm) | [b] | 28.000 |
| Corner radius (mm) | [r] | 2.000 |
| Number of rolling bodies | [Z] | 17 |
| Rolling body reference circle (mm) | [D _{pw}] | 144.990 |
| Diameter rolling body (mm) | [D _w] | 14.495 |
| Rolling body length (mm) | [L _{we}] | 18.752 |
| Diameter, external race (mm) | [d _o] | 159.520 |
| Diameter, internal race (mm) | [d _i] | 130.460 |
| Calculation with approximate bearings internal geometry (*) | | |
| Bearing clearance | | DIN 620:1988 C0 (70.00 µm) |
| Basic static load rating (kN) | [C ₀] | 183.000 |
| Basic dynamic load rating (kN) | [C] | 134.000 |
| Fatigue load rating (kN) | [C _u] | 20.800 |
| Values for approximated geometry: | | |
| Basic dynamic load rating (kN) | [C _{theo}] | 133.939 |
| Basic static load rating (kN) | [C _{0theo}] | 182.988 |

Results

Note: the maximum deflection and torsion of the shaft under torque, the life modification factor aISO, and the bearing's thinnest lubricant film thickness EHL, are predefined for the first load bin.

Shaft

| | |
|------------------------------|----------|
| Maximum deflection (µm) | 107.544 |
| Position of the maximum (mm) | 0.000 |
| Mass center of gravity (mm) | 213.076 |
| Total axial load (N) | 1066.970 |
| Torsion under torque (°) | 0.001 |

Bearing

| | | | |
|---|------------------------------|-------|----|
| Probability of failure | [n] | 10.00 | % |
| Axial clearance | [u _A] | 10.00 | µm |
| Lubricant | Grease: Klüberquiet BQ 42-32 | | |
| Lubricant - service temperature | [T _B] | 70.00 | °C |
| Rolling bearing stiffness calculated from internal geometry | | | |

Shaft 'Shaft2' Rolling bearing 'Bearing1'

| | | | |
|---|--------------------------------------|----------|--------------------|
| Position (Y-coordinate) | [y] | 52.00 | mm |
| Life modification factor for reliability[a _r] | | 1.000 | |
| Nominal bearing service life | [L _{nh}] | 15242.26 | h |
| Operating viscosity | [ν] | 9.73 | mm ² /s |
| Minimum EHL lubricant film thickness | [h _{min}] | 0.000 | µm |
| Spin to roll ratio | [ω _s /ω _{roll}] | 0.101 | |
| Static safety factor | [S ₀] | 4.17 | |
| Operating bearing clearance | [Pd] | -5.490 | µm |

Reference rating service life [L_{nrh}] 14444.46 h

Bearing reaction force

| | Fx (kN) | Fy (kN) | Fz (kN) | Fr (kN) | Mx (Nm) | My (Nm) | Mz (Nm) | Mr (Nm) |
|---|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|----------|
| 1 | 22.489 | -19.617 | 29.922 | 37.431 | -1154.097 | 0.000 | 889.385 | 1457.033 |
| 2 | 14.708 | -12.845 | 19.183 | 24.173 | -748.740 | 0.000 | 585.868 | 950.711 |
| 3 | 1.368 | -1.352 | 1.835 | 2.289 | -74.750 | 0.000 | 55.755 | 93.253 |

Bearing reaction moment

Displacement of bearing

| | ux (µm) | uy (µm) | uz (µm) | rr (µm) | rx (mrad) | ry (mrad) | rz (mrad) | rr (mrad) |
|---|----------|----------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | -37.5486 | -37.2002 | -61.9212 | 72.4164 | 0.345 | -0.076 | -0.498 | 0.606 |
| 2 | -27.7625 | -26.5157 | -45.8292 | 53.5823 | 0.232 | -0.050 | -0.370 | 0.436 |
| 3 | -3.6755 | -3.2015 | -5.0904 | 6.2786 | 0.074 | -0.000 | -0.058 | 0.094 |

Misalignment of bearing

Shaft 'Shaft2' Rolling bearing 'Bearing2'

Position (Y-coordinate) [y] 131.00 mm
 Life modification factor for reliability[a₁] 1.000
 Nominal bearing service life [L_{nrh}] 43220.77 h
 Operating viscosity [ν] 9.73 mm²/s
 Minimum EHL lubricant film thickness [h_{min}] 0.000 µm
 Spin to roll ratio [ω_s/ω_{roll}] 0.100
 Static safety factor [S₀] 6.20
 Operating bearing clearance [Pd] -5.541 µm
 Reference rating service life [L_{nrh}] 49080.71 h

Bearing reaction force

| | Fx (kN) | Fy (kN) | Fz (kN) | Fr (kN) | Mx (Nm) | My (Nm) | Mz (Nm) | Mr (Nm) |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 1 | -12.938 | 17.808 | 21.599 | 25.177 | 890.897 | 0.000 | 609.032 | 1079.174 |
| 2 | -8.428 | 11.823 | 15.078 | 17.274 | 619.815 | 0.000 | 382.414 | 728.293 |
| 3 | -1.148 | 1.335 | -1.246 | 1.695 | -51.712 | 0.000 | 47.532 | 70.238 |

Bearing reaction moment

Displacement of bearing

| | ux (µm) | uy (µm) | uz (µm) | rr (µm) | rx (mrad) | ry (mrad) | rz (mrad) | rr (mrad) |
|---|---------|----------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | -0.3395 | -37.1237 | -40.0466 | 40.0480 | 0.217 | -0.183 | -0.441 | 0.491 |
| 2 | 0.0119 | -26.4661 | -31.0672 | 31.0672 | 0.146 | -0.121 | -0.332 | 0.362 |
| 3 | 0.8180 | -3.1754 | 0.5353 | 0.9775 | 0.071 | -0.001 | -0.057 | 0.091 |

Misalignment of bearing

Shaft 'Shaft2' Rolling bearing 'RollerBearing5'

Position (Y-coordinate) [y] 85.00 mm
 Life modification factor for reliability[a₁] 1.000
 Nominal bearing service life [L_{nrh}] 57333.32 h
 Operating viscosity [ν] 9.73 mm²/s
 Minimum EHL lubricant film thickness [h_{min}] 0.000 µm
 Spin to roll ratio [ω_s/ω_{roll}] 0.102
 Static safety factor [S₀] 6.61
 Operating bearing clearance [Pd] -5.541 µm
 Reference rating service life [L_{nrh}] 53620.31 h

Bearing reaction force

| | Fx (kN) | Fy (kN) | Fz (kN) | Fr (kN) | Mx (Nm) | My (Nm) | Mz (Nm) | Mr (Nm) |
|---|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|
| 1 | 12.519 | -12.256 | 19.991 | 23.587 | -771.771 | 0.000 | 499.514 | 919.318 |
| 2 | 8.390 | -8.286 | 13.283 | 15.710 | -518.855 | 0.000 | 336.583 | 618.465 |
| 3 | 0.858 | -0.877 | 1.174 | 1.454 | -47.937 | 0.000 | 35.036 | 59.376 |

Bearing reaction moment

Displacement of bearing

| | ux (µm) | uy (µm) | uz (µm) | rr (µm) | rx (mrad) | ry (mrad) | rz (mrad) | rr (mrad) |
|--|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|--|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|

Misalignment of bearing

| | | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|---------|-------|--------|--------|-------|
| 1 | -21.2011 | -37.2527 | -51.1449 | 55.3650 | 0.287 | -0.121 | -0.472 | 0.553 |
| 2 | -15.6251 | -26.5521 | -38.5705 | 41.6153 | 0.193 | -0.080 | -0.352 | 0.402 |
| 3 | -1.7702 | -3.1965 | -2.6824 | 3.2138 | 0.072 | -0.001 | -0.057 | 0.092 |

Shaft 'Shaft2' Rolling bearing 'RollerBearing6'

| | | | |
|---|---------------------|----------|--------------------|
| Position (Y-coordinate) | [y] | 511.00 | mm |
| Life modification factor for reliability[a ₁] | | 1.000 | |
| Nominal bearing service life | [L _{nh}] | 33529.80 | h |
| Operating viscosity | [v] | 9.73 | mm ² /s |
| Minimum EHL lubricant film thickness | [h _{min}] | 0.000 | μm |
| Static safety factor | [S ₀] | 5.84 | |
| Operating bearing clearance | [Pd] | 70.000 | μm |
| Reference rating service life | [L _{nrh}] | 56279.34 | h |

Bearing reaction force

| | Fx (kN) | Fy (kN) | Fz (kN) | Fr (kN) | Mx (Nm) | My (Nm) | Mz (Nm) | Mr (Nm) |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | -28.746 | 0.000 | 12.486 | 31.341 | -2.017 | 0.000 | -4.280 | 4.731 |
| 2 | -19.088 | 0.000 | 8.042 | 20.712 | -0.730 | 0.000 | -1.342 | 1.528 |
| 3 | -0.000 | 0.000 | -0.000 | 0.000 | -0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Bearing reaction moment

Displacement of bearing

| | ux (μm) | uy (μm) | uz (μm) | rr (μm) | rx (mrad) | ry (mrad) | rz (mrad) | rr (mrad) |
|---|---------|----------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 65.3998 | -38.5252 | -29.0236 | 71.5507 | 0.060 | -0.792 | 0.091 | 0.109 |
| 2 | 58.0533 | -27.3936 | -24.5055 | 63.0135 | 0.036 | -0.524 | 0.023 | 0.042 |
| 3 | 23.0860 | -3.1817 | 26.6255 | 35.2403 | 0.068 | -0.004 | -0.059 | 0.090 |

Misalignment of bearing

(*) Note about roller bearings with an approximated bearing geometry:

The internal geometry of these bearings has not been input in the database.

The geometry is back-calculated as specified in ISO 281, from C and C0 (details in the manufacturer's catalog).

For this reason, the geometry may be different from the actual geometry.

In some situations, this may result in significant variations in roller bearing stiffness.

Damage (%) [Lreq] (4000.000)

| Bin no | B1 | B2 | B3 | B4 | |
|--------|----|-------|------|------|------|
| 1 | | 12.94 | 4.25 | 3.24 | 6.05 |
| 2 | | 13.18 | 4.89 | 3.62 | 5.76 |
| 3 | | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |

Σ 26.24 9.25 6.98 11.93

Utilization (%) [Lreq] (4000.000)

| B1 | B2 | B3 | B4 |
|-------|-------|-------|-------|
| 64.02 | 45.23 | 41.17 | 52.84 |

Note: Utilization = (Lreq/Lh)^(1/k)

Ball bearing: k = 3, roller bearing: k = 10/3

- B 1: Bearing1
- B 2: Bearing2
- B 3: RollerBearing5
- B 4: RollerBearing6

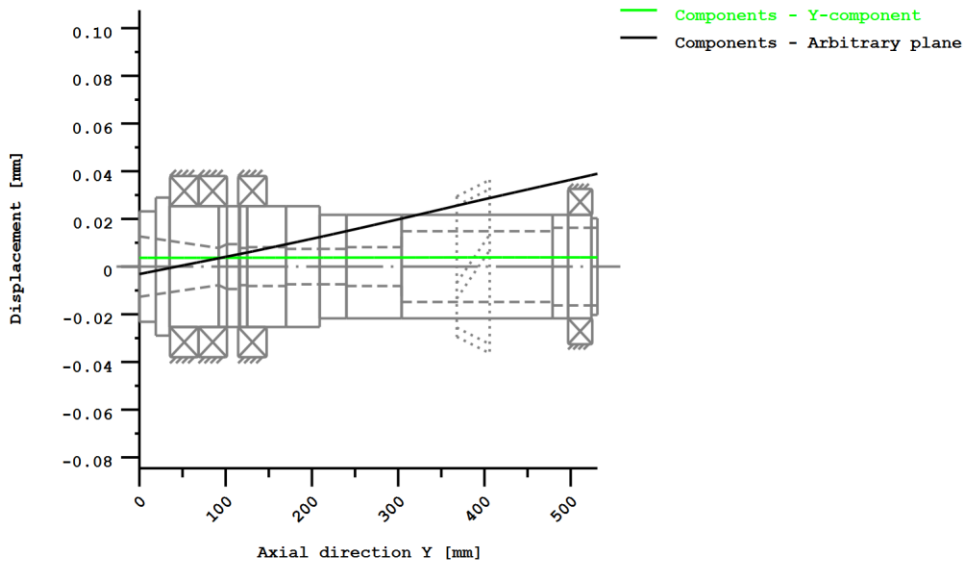
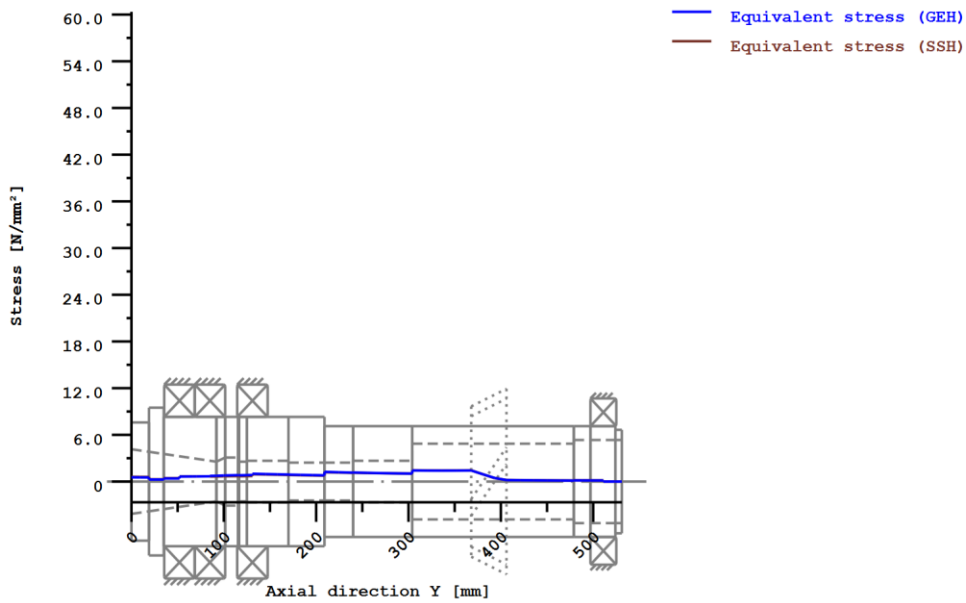


Figure: Deformation (bending etc.) (Arbitrary plane 91.93194384 121)



Nominal stresses, without taking into account stress concentrations
 GEH(von Mises): $\sigma_V = \sqrt{(\sigma_B + \sigma_{Z,D})^2 + 3 \cdot (\tau_T + \tau_S)^2}$ ^{1/2}
 SSH(Tresca): $\sigma_V = \sqrt{(\sigma_B - \sigma_{Z,D})^2 + 4 \cdot (\tau_T + \tau_S)^2}$ ^{1/2}

Figure: Equivalent stress

PŘÍLOHA č. 2

Výpočet teplotně stálých otáček

KISSsoft - student license (not for commercial use)

File

Name : Unnamed

Changed by: SFin on: 08.05.2018 at: 21:51:12

THERMALLY SAFE OPERATING SPEED CALCULATION (Pastorek – olej)

(according to DIN ISO 15312 and DIN 732)

Lubricant Oil: Klübersynth GEM 4-68 N

Lubrication type:

Immersion lubrication - Bearing in oil mist

Mean bearing temperature $[T_m]$ 70.000 °CTemperature of bearing environment $[T_u]$ 20.000 °CLubricant - service temperature $[T_B]$ 70.000 °CLubricant temperature - Reference conditions $[T_{ref}]$ 70.000 °C**Shaft 'Shaft1', Rolling bearing 'Bearing1':**

Thermal nominal speed according to DIN ISO 15312:

Type of support Cylindrical roller bearing (single row)

Bearing number FAG NU1020-XL-M1

Design series NU10

Own Input

Speed $[n]$ 3000.000 1/minCoefficient $[f_{Or}]$ 1.333

(Depends upon type of design and lubrication at reference conditions)

Coefficient $[f_{1r}]$ 0.000200

(Depends upon type of design and load at reference conditions)

Heat sink reference surface $[A_S]$ 18849.556 mm²Reference load $[P_{1r}]$ 6.750 kNBearing mean diameter $[d_m]$ 125.000 mmBearing-specific reference heat flow density $[q_r]$ 16.000 kW/m²kinematic viscosity (for reference conditions) $[v_r]$ 12.000 mm²/sThermal nominal speed $[n_{\theta r}]$ 6229.692 1/min

Thermally safe operating speed according to DIN 732:

Coefficient $[f_0]$ 0.667

(Depends upon type of design and lubrication)

Coefficient $[f_1]$ 0.000200

(Depends upon type of design and load)

Heat flow (dissipated by the bearing support surface) $[\Phi_S]$ 0.292 kWTotal heat flow $[\Phi]$ 0.292 kWDynamic equivalent load $[P_1]$ 100.000 Nkinematic viscosity at service temperature $[v]$ 23.525 mm²/sLubricant film parameter $[K_L]$ 0.808Charge parameter $[K_P]$ 0.006Speed ratio $[f_n]$ 1.128Thermally safe operating speed $[n_{\theta}]$ 7026.655 1/min**Shaft 'Shaft1', Rolling bearing 'Bearing2':**

Thermal nominal speed according to DIN ISO 15312:

| | | | |
|---|---|-----------|--------------------|
| Type of support | Angular contact ball bearing (single row) | | |
| Bearing number | SKF 7220 BECBY | | |
| Design series | 72 | | |
| Speed | [n] | 3000.000 | 1/min |
| Coefficient | [f _{0r}] | | 2.000 |
| (Depends upon type of design and lubrication at reference conditions) | | | |
| Coefficient | [f _{1r}] | | 0.000250 |
| (Depends upon type of design and load at reference conditions) | | | |
| Heat sink reference surface | [A _S] | 29907.962 | mm ² |
| Reference load | [P _{1r}] | 6.100 | kN |
| Bearing mean diameter | [d _m] | 140.000 | mm |
| Bearing-specific reference heat flow density | [q _r] | 16.000 | kW/m ² |
| kinematic viscosity (for reference conditions) | [ν _r] | 12.000 | mm ² /s |
| Thermal nominal speed | [n _{θr}] | 5254.628 | 1/min |

Thermally safe operating speed according to DIN 732:

| | | | |
|---|-------------------|----------|--------------------|
| Coefficient | [f ₀] | | 1.000 |
| (Depends upon type of design and lubrication) | | | |
| Coefficient | [f ₁] | | 0.000056 |
| (Depends upon type of design and load) | | | |
| Heat flow (dissipated by the bearing support surface) | [Φ _S] | 0.464 | kW |
| Total heat flow | [Φ] | 0.464 | kW |
| Dynamic equivalent load | [P ₁] | 57.132 | N |
| kinematic viscosity at service temperature | [ν] | 23.525 | mm ² /s |
| Lubricant film parameter | [K _L] | 0.808 | |
| Charge parameter | [K _P] | 0.001 | |
| Speed ratio | [f _n] | 1.143 | |
| Thermally safe operating speed | [n _θ] | 6003.823 | 1/min |

Shaft 'Shaft1', Rolling bearing 'Bearing3':

Thermal nominal speed according to DIN ISO 15312:

| | | | |
|---|---|-----------|--------------------|
| Type of support | Angular contact ball bearing (single row) | | |
| Bearing number | SKF 7220 BECBY | | |
| Design series | 72 | | |
| Speed | [n] | 3000.000 | 1/min |
| Coefficient | [f _{0r}] | | 2.000 |
| (Depends upon type of design and lubrication at reference conditions) | | | |
| Coefficient | [f _{1r}] | | 0.000250 |
| (Depends upon type of design and load at reference conditions) | | | |
| Heat sink reference surface | [A _S] | 29907.962 | mm ² |
| Reference load | [P _{1r}] | 6.100 | kN |
| Bearing mean diameter | [d _m] | 140.000 | mm |
| Bearing-specific reference heat flow density | [q _r] | 16.000 | kW/m ² |
| kinematic viscosity (for reference conditions) | [ν _r] | 12.000 | mm ² /s |
| Thermal nominal speed | [n _{θr}] | 5254.628 | 1/min |

Thermally safe operating speed according to DIN 732:

| | | | |
|---|-------------------|-------|----------|
| Coefficient | [f ₀] | | 1.000 |
| (Depends upon type of design and lubrication) | | | |
| Coefficient | [f ₁] | | 0.000074 |
| (Depends upon type of design and load) | | | |
| Heat flow (dissipated by the bearing support surface) | [Φ _S] | 0.464 | kW |
| Total heat flow | [Φ] | 0.464 | kW |

| | | | |
|--|-------------------|----------|--------------------|
| Dynamic equivalent load | [P ₁] | 132.999 | N |
| kinematic viscosity at service temperature | [ν] | 23.525 | mm ² /s |
| Lubricant film parameter | [K _L] | 0.808 | |
| Charge parameter | [K _P] | 0.002 | |
| Speed ratio | [f _n] | 1.135 | |
| Thermally safe operating speed | [n _θ] | 5965.337 | 1/min |

Shaft 'Shaft1', Rolling bearing 'Bearing4':

Thermal nominal speed according to DIN ISO 15312:

| | | | |
|---|---|-----------|--------------------|
| Type of support | Cylindrical roller bearing (single row) | | |
| Bearing number | FAG NU1020-XL-M1 | | |
| Design series | NU10 | | |
| Own Input | | | |
| Speed | [n] | 3000.000 | 1/min |
| Coefficient | [f _{0r}] | | 4.000 |
| (Depends upon type of design and lubrication at reference conditions) | | | |
| Coefficient | [f _{1r}] | | 0.000550 |
| (Depends upon type of design and load at reference conditions) | | | |
| Heat sink reference surface | [A _S] | 18095.574 | mm ² |
| Reference load | [P _{1r}] | 6.750 | kN |
| Bearing mean diameter | [d _m] | 125.000 | mm |
| Bearing-specific reference heat flow density | [q _r] | 16.000 | kW/m ² |
| kinematic viscosity (for reference conditions) | [ν _r] | 12.000 | mm ² /s |
| Thermal nominal speed | [n _{θr}] | 3144.229 | 1/min |

Thermally safe operating speed according to DIN 732:

| | | | |
|---|-------------------|----------|--------------------|
| Coefficient | [f ₀] | | 2.000 |
| (Depends upon type of design and lubrication) | | | |
| Coefficient | [f ₁] | | 0.000550 |
| (Depends upon type of design and load) | | | |
| Heat flow (dissipated by the bearing support surface) | [Φ _S] | 0.280 | kW |
| Total heat flow | [Φ] | 0.280 | kW |
| Dynamic equivalent load | [P ₁] | 100.000 | N |
| kinematic viscosity at service temperature | [ν] | 23.525 | mm ² /s |
| Lubricant film parameter | [K _L] | 0.808 | |
| Charge parameter | [K _P] | 0.008 | |
| Speed ratio | [f _n] | 1.128 | |
| Thermally safe operating speed | [n _θ] | 3546.469 | 1/min |

The reference conditions for calculating the thermal nominal speed are taken from the DIN ISO 15312 standard.

End of Report lines: 162

KISSsoft Release 03/2017 E

KISSsoft - student license (not for commercial use)

File

Name : Unnamed

Changed by: SFin on: 08.05.2018 at: 21:49:41

THERMALLY SAFE OPERATING SPEED CALCULATION (Pastorek – tuk)

(according to DIN ISO 15312 and DIN 732)

| | | | |
|--|------------------------------|--------|----|
| Lubricant | Grease: Klüberquiet BQ 42-32 | | |
| Operating condition: | | | |
| Run in bearing | | | |
| Mean bearing temperature | $[T_m]$ | 70.000 | °C |
| Temperature of bearing environment | $[T_u]$ | 20.000 | °C |
| Lubricant - service temperature | $[T_B]$ | 70.000 | °C |
| Lubricant temperature - Reference conditions | $[T_{ref}]$ | 70.000 | °C |

Shaft 'Shaft1', Rolling bearing 'Bearing1':

Thermal nominal speed according to DIN ISO 15312:

| | | | |
|---|---|-----------|--------------------|
| Type of support | Cylindrical roller bearing (single row) | | |
| Bearing number | FAG NU1020-XL-M1 | | |
| Design series | NU10 | | |
| Own Input | | | |
| Speed | $[n]$ | 3000.000 | 1/min |
| Coefficient | $[f_{0r}]$ | | 1.333 |
| (Depends upon type of design and lubrication at reference conditions) | | | |
| Coefficient | $[f_{1r}]$ | | 0.000200 |
| (Depends upon type of design and load at reference conditions) | | | |
| Heat sink reference surface | $[A_S]$ | 18849.556 | mm ² |
| Reference load | $[P_{1r}]$ | 6.750 | kN |
| Bearing mean diameter | $[d_m]$ | 125.000 | mm |
| Bearing-specific reference heat flow density | $[q_r]$ | 16.000 | kW/m ² |
| kinematic viscosity (for reference conditions) | $[v_r]$ | 22.000 | mm ² /s |
| Thermal nominal speed | $[n_{\theta r}]$ | 4888.668 | 1/min |

Thermally safe operating speed according to DIN 732:

| | | | |
|---|----------------|----------|--------------------|
| Coefficient | $[f_0]$ | | 1.333 |
| (Depends upon type of design and lubrication) | | | |
| Coefficient | $[f_1]$ | | 0.000200 |
| (Depends upon type of design and load) | | | |
| Heat flow (dissipated by the bearing support surface) | $[\Phi_S]$ | 0.292 | kW |
| Total heat flow | $[\Phi]$ | 0.292 | kW |
| Dynamic equivalent load | $[P_1]$ | 100.000 | N |
| kinematic viscosity at service temperature | $[v]$ | 9.732 | mm ² /s |
| Lubricant film parameter | $[K_L]$ | 0.599 | |
| Charge parameter | $[K_P]$ | 0.004 | |
| Speed ratio | $[f_n]$ | 1.348 | |
| Thermally safe operating speed | $[n_{\theta}]$ | 6588.243 | 1/min |

Shaft 'Shaft1', Rolling bearing 'Bearing2':

Thermal nominal speed according to DIN ISO 15312:

| | | | |
|---|---|----------|----------|
| Type of support | Angular contact ball bearing (single row) | | |
| Bearing number | SKF 7220 BECBY | | |
| Design series | 72 | | |
| Speed | $[n]$ | 3000.000 | 1/min |
| Coefficient | $[f_{0r}]$ | | 1.333 |
| (Depends upon type of design and lubrication at reference conditions) | | | |
| Coefficient | $[f_{1r}]$ | | 0.000250 |
| (Depends upon type of design and load at reference conditions) | | | |

| | | | |
|--|--------------------|-----------|--------------------|
| Heat sink reference surface | [A _S] | 29907.962 | mm ² |
| Reference load | [P _{1r}] | 6.100 | kN |
| Bearing mean diameter | [d _m] | 140.000 | mm |
| Bearing-specific reference heat flow density | [q _r] | 16.000 | kW/m ² |
| kinematic viscosity (for reference conditions) | [ν _r] | 22.000 | mm ² /s |
| Thermal nominal speed | [n _{θr}] | 5258.963 | 1/min |

Thermally safe operating speed according to DIN 732:

| | | | |
|---|-------------------|----------|--------------------|
| Coefficient | [f ₀] | 1.333 | |
| (Depends upon type of design and lubrication) | | | |
| Coefficient | [f ₁] | 0.000056 | |
| (Depends upon type of design and load) | | | |
| Heat flow (dissipated by the bearing support surface) | [Φ _S] | 0.464 | kW |
| Total heat flow | [Φ] | 0.464 | kW |
| Dynamic equivalent load | [P ₁] | 57.132 | N |
| kinematic viscosity at service temperature | [ν] | 9.732 | mm ² /s |
| Lubricant film parameter | [K _L] | 0.599 | |
| Charge parameter | [K _P] | 0.001 | |
| Speed ratio | [f _n] | 1.362 | |
| Thermally safe operating speed | [n _θ] | 7164.310 | 1/min |

Shaft 'Shaft1', Rolling bearing 'Bearing3':

Thermal nominal speed according to DIN ISO 15312:

| | | | |
|---|---|-----------|--------------------|
| Type of support | Angular contact ball bearing (single row) | | |
| Bearing number | SKF 7220 BECBY | | |
| Design series | 72 | | |
| Speed | [n] | 3000.000 | 1/min |
| Coefficient | [f _{0r}] | 1.333 | |
| (Depends upon type of design and lubrication at reference conditions) | | | |
| Coefficient | [f _{1r}] | 0.000250 | |
| (Depends upon type of design and load at reference conditions) | | | |
| Heat sink reference surface | [A _S] | 29907.962 | mm ² |
| Reference load | [P _{1r}] | 6.100 | kN |
| Bearing mean diameter | [d _m] | 140.000 | mm |
| Bearing-specific reference heat flow density | [q _r] | 16.000 | kW/m ² |
| kinematic viscosity (for reference conditions) | [ν _r] | 22.000 | mm ² /s |
| Thermal nominal speed | [n _{θr}] | 5258.963 | 1/min |

Thermally safe operating speed according to DIN 732:

| | | | |
|---|-------------------|----------|--------------------|
| Coefficient | [f ₀] | 1.333 | |
| (Depends upon type of design and lubrication) | | | |
| Coefficient | [f ₁] | 0.000074 | |
| (Depends upon type of design and load) | | | |
| Heat flow (dissipated by the bearing support surface) | [Φ _S] | 0.464 | kW |
| Total heat flow | [Φ] | 0.464 | kW |
| Dynamic equivalent load | [P ₁] | 132.999 | N |
| kinematic viscosity at service temperature | [ν] | 9.732 | mm ² /s |
| Lubricant film parameter | [K _L] | 0.599 | |
| Charge parameter | [K _P] | 0.002 | |
| Speed ratio | [f _n] | 1.362 | |
| Thermally safe operating speed | [n _θ] | 7164.310 | 1/min |

Shaft 'Shaft1', Rolling bearing 'Bearing4':

Thermal nominal speed according to DIN ISO 15312:

| | | | |
|---|---|-----------|--------------------|
| Type of support | Cylindrical roller bearing (single row) | | |
| Bearing number | FAG NU1020-XL-M1 | | |
| Design series | NU10 | | |
| Own Input | | | |
| Speed | [n] | 3000.000 | 1/min |
| Coefficient | [f _{0r}] | | 4.000 |
| (Depends upon type of design and lubrication at reference conditions) | | | |
| Coefficient | [f _{1r}] | | 0.000550 |
| (Depends upon type of design and load at reference conditions) | | | |
| Heat sink reference surface | [A _S] | 18095.574 | mm ² |
| Reference load | [P _{1r}] | 6.750 | kN |
| Bearing mean diameter | [d _m] | 125.000 | mm |
| Bearing-specific reference heat flow density | [q _r] | 16.000 | kW/m ² |
| kinematic viscosity (for reference conditions) | [ν _r] | 22.000 | mm ² /s |
| Thermal nominal speed | [n _{θr}] | 2467.443 | 1/min |

Thermally safe operating speed according to DIN 732:

| | | | |
|---|-------------------|----------|--------------------|
| Coefficient | [f ₀] | | 4.000 |
| (Depends upon type of design and lubrication) | | | |
| Coefficient | [f ₁] | | 0.000550 |
| (Depends upon type of design and load) | | | |
| Heat flow (dissipated by the bearing support surface) | [Φ _S] | 0.280 | kW |
| Total heat flow | [Φ] | 0.280 | kW |
| Dynamic equivalent load | [P ₁] | 100.000 | N |
| kinematic viscosity at service temperature | [ν] | 9.732 | mm ² /s |
| Lubricant film parameter | [K _L] | 0.599 | |
| Charge parameter | [K _P] | 0.006 | |
| Speed ratio | [f _n] | 1.348 | |
| Thermally safe operating speed | [n _θ] | 3325.266 | 1/min |

The reference conditions for calculating the thermal nominal speed are taken from the DIN ISO 15312 standard.

End of Report lines: 162

KISSsoft Release 03/2017 E

KISSsoft - student license (not for commercial use)

File

Name : Unnamed

Changed by: SFin on: 08.05.2018 at: 21:05:35

THERMALLY SAFE OPERATING SPEED CALCULATION (Vreteno – olej)

(according to DIN ISO 15312 and DIN 732)

| | | | |
|--|---------------------------|--------|----|
| Lubricant | Oil: Klüberoil GEM 1-68 N | | |
| Lubrication type: | | | |
| Immersion lubrication - Bearing in oil mist | | | |
| Mean bearing temperature | [T _m] | 70.000 | °C |
| Temperature of bearing environment | [T _u] | 20.000 | °C |
| Lubricant - service temperature | [T _B] | 70.000 | °C |
| Lubricant temperature - Reference conditions | [T _{ref}] | 70.000 | °C |

Shaft 'Shaft2', Rolling bearing 'Bearing1':

Thermal nominal speed according to DIN ISO 15312:

| | | | |
|---|---|-----------|--------------------|
| Type of support | Angular contact ball bearing (single row) | | |
| Bearing number | SKF 7028 ACD/HCP4A | | |
| Design series | 70 | | |
| Speed | [n] | 3000.000 | 1/min |
| Coefficient | [f _{0r}] | | 1.700 |
| (Depends upon type of design and lubrication at reference conditions) | | | |
| Coefficient | [f _{1r}] | | 0.000150 |
| (Depends upon type of design and load at reference conditions) | | | |
| Heat sink reference surface | [A _s] | 36285.395 | mm ² |
| Reference load | [P _{1r}] | 7.800 | kN |
| Bearing mean diameter | [d _m] | 175.000 | mm |
| Bearing-specific reference heat flow density | [q _r] | 16.000 | kW/m ² |
| kinematic viscosity (for reference conditions) | [ν _r] | 12.000 | mm ² /s |
| Thermal nominal speed | [n _{θr}] | 4353.531 | 1/min |

Thermally safe operating speed according to DIN 732:

| | | | |
|---|-------------------|----------|--------------------|
| Coefficient | [f ₀] | | 0.850 |
| (Depends upon type of design and lubrication) | | | |
| Coefficient | [f ₁] | | 0.000085 |
| (Depends upon type of design and load) | | | |
| Heat flow (dissipated by the bearing support surface) | [Φ _S] | 0.562 | kW |
| Total heat flow | [Φ] | 0.562 | kW |
| Dynamic equivalent load | [P ₁] | 4278.235 | N |
| kinematic viscosity at service temperature | [ν] | 20.589 | mm ² /s |
| Lubricant film parameter | [K _L] | 0.740 | |
| Charge parameter | [K _P] | 0.052 | |
| Speed ratio | [f _n] | 1.157 | |
| Thermally safe operating speed | [n _θ] | 5038.022 | 1/min |

Shaft 'Shaft2', Rolling bearing 'Bearing2':

Thermal nominal speed according to DIN ISO 15312:

| | | | |
|---|---|-----------|--------------------|
| Type of support | Angular contact ball bearing (single row) | | |
| Bearing number | SKF 7028 ACD/HCP4A | | |
| Design series | 70 | | |
| Speed | [n] | 3000.000 | 1/min |
| Coefficient | [f _{0r}] | | 1.700 |
| (Depends upon type of design and lubrication at reference conditions) | | | |
| Coefficient | [f _{1r}] | | 0.000150 |
| (Depends upon type of design and load at reference conditions) | | | |
| Heat sink reference surface | [A _s] | 36285.395 | mm ² |
| Reference load | [P _{1r}] | 7.800 | kN |
| Bearing mean diameter | [d _m] | 175.000 | mm |
| Bearing-specific reference heat flow density | [q _r] | 16.000 | kW/m ² |
| kinematic viscosity (for reference conditions) | [ν _r] | 12.000 | mm ² /s |
| Thermal nominal speed | [n _{θr}] | 4353.531 | 1/min |

Thermally safe operating speed according to DIN 732:

| | | | |
|-------------|-------------------|--|-------|
| Coefficient | [f ₀] | | 0.850 |
|-------------|-------------------|--|-------|

| | | | | |
|---|--------------|----------|--------------------|--|
| (Depends upon type of design and lubrication) | | | | |
| Coefficient | $[f_1]$ | 0.000074 | | |
| (Depends upon type of design and load) | | | | |
| Heat flow (dissipated by the bearing support surface) | $[\Phi_S]$ | 0.562 | kW | |
| Total heat flow | $[\Phi]$ | 0.562 | kW | |
| Dynamic equivalent load | $[P_1]$ | 4219.989 | N | |
| kinematic viscosity at service temperature | $[\nu]$ | 20.589 | mm ² /s | |
| Lubricant film parameter | $[K_L]$ | 0.740 | | |
| Charge parameter | $[K_P]$ | 0.044 | | |
| Speed ratio | $[f_n]$ | 1.157 | | |
| Thermally safe operating speed | $[n_\theta]$ | 5038.022 | 1/min | |

Shaft 'Shaft2', Rolling bearing 'RollerBearing5':

Thermal nominal speed according to DIN ISO 15312:

| | | | | |
|---|---|-----------|--------------------|--|
| Type of support | Angular contact ball bearing (single row) | | | |
| Bearing number | SKF 7028 ACD/HCP4A | | | |
| Design series | 70 | | | |
| Speed | $[n]$ | 3000.000 | 1/min | |
| Coefficient | $[f_{0r}]$ | | 1.700 | |
| (Depends upon type of design and lubrication at reference conditions) | | | | |
| Coefficient | $[f_{1r}]$ | | 0.000150 | |
| (Depends upon type of design and load at reference conditions) | | | | |
| Heat sink reference surface | $[A_S]$ | 36285.395 | mm ² | |
| Reference load | $[P_{1r}]$ | 7.800 | kN | |
| Bearing mean diameter | $[d_m]$ | 175.000 | mm | |
| Bearing-specific reference heat flow density | $[q_r]$ | 16.000 | kW/m ² | |
| kinematic viscosity (for reference conditions) | $[\nu_r]$ | 12.000 | mm ² /s | |
| Thermal nominal speed | $[n_{\theta r}]$ | 4353.531 | 1/min | |

Thermally safe operating speed according to DIN 732:

| | | | | |
|---|--------------|----------|--------------------|--|
| Coefficient | $[f_0]$ | 0.850 | | |
| (Depends upon type of design and lubrication) | | | | |
| Coefficient | $[f_1]$ | 0.000068 | | |
| (Depends upon type of design and load) | | | | |
| Heat flow (dissipated by the bearing support surface) | $[\Phi_S]$ | 0.562 | kW | |
| Total heat flow | $[\Phi]$ | 0.562 | kW | |
| Dynamic equivalent load | $[P_1]$ | 2770.934 | N | |
| kinematic viscosity at service temperature | $[\nu]$ | 20.589 | mm ² /s | |
| Lubricant film parameter | $[K_L]$ | 0.740 | | |
| Charge parameter | $[K_P]$ | 0.027 | | |
| Speed ratio | $[f_n]$ | 1.172 | | |
| Thermally safe operating speed | $[n_\theta]$ | 5101.795 | 1/min | |

Shaft 'Shaft2', Rolling bearing 'RollerBearing6':

Thermal nominal speed according to DIN ISO 15312:

| | | | | |
|---|---|----------|-------|--|
| Type of support | Cylindrical roller bearing (single row) | | | |
| Bearing number | SKF NJ 1024 ML | | | |
| Design series | 10 | | | |
| Speed | $[n]$ | 3000.000 | 1/min | |
| Coefficient | $[f_{0r}]$ | | 2.000 | |
| (Depends upon type of design and lubrication at reference conditions) | | | | |

| | | | |
|--|--------------------|-----------|--------------------|
| Coefficient | [f _{1r}] | 0.000200 | |
| (Depends upon type of design and load at reference conditions) | | | |
| Heat sink reference surface | [A _S] | 26389.378 | mm ² |
| Reference load | [P _{1r}] | 9.150 | kN |
| Bearing mean diameter | [d _m] | 150.000 | mm |
| Bearing-specific reference heat flow density | [q _r] | 16.000 | kW/m ² |
| kinematic viscosity (for reference conditions) | [ν _r] | 12.000 | mm ² /s |
| Thermal nominal speed | [n _{θr}] | 4305.079 | 1/min |

Thermally safe operating speed according to DIN 732:

| | | | |
|---|-------------------|----------|--------------------|
| Coefficient | [f ₀] | 1.000 | |
| (Depends upon type of design and lubrication) | | | |
| Coefficient | [f ₁] | 0.000200 | |
| (Depends upon type of design and load) | | | |
| Heat flow (dissipated by the bearing support surface) | [Φ _S] | 0.409 | kW |
| Total heat flow | [Φ] | 0.409 | kW |
| Dynamic equivalent load | [P ₁] | 13.770 | N |
| kinematic viscosity at service temperature | [ν] | 20.589 | mm ² /s |
| Lubricant film parameter | [K _L] | 0.739 | |
| Charge parameter | [K _P] | 0.000 | |
| Speed ratio | [f _n] | 1.201 | |
| Thermally safe operating speed | [n _θ] | 5171.140 | 1/min |

The reference conditions for calculating the thermal nominal speed are taken from the DIN ISO 15312 standard.

End of Report lines: 160

KISSsoft Release 03/2017 E

KISSsoft - student license (not for commercial use)

File

Name : Unnamed
 Changed by: SFin on: 08.05.2018 at: 21:04:03

THEMALLY SAFE OPERATING SPEED CALCULATION (Vreteno – tuk)

(according to DIN ISO 15312 and DIN 732)

Lubricant Grease: Klüberquiet BQ 42-32

Operating condition:

Run in bearing

| | | | |
|--|---------------------|--------|----|
| Mean bearing temperature | [T _m] | 70.000 | °C |
| Temperature of bearing environment | [T _u] | 20.000 | °C |
| Lubricant - service temperature | [T _B] | 70.000 | °C |
| Lubricant temperature - Reference conditions | [T _{ref}] | 70.000 | °C |

Shaft 'Shaft2', Rolling bearing 'Bearing1':

Thermal nominal speed according to DIN ISO 15312:

| | | | |
|-----------------|---|----------|-------|
| Type of support | Angular contact ball bearing (single row) | | |
| Bearing number | SKF 7028 ACD/HCP4A | | |
| Design series | 70 | | |
| Speed | [n] | 3000.000 | 1/min |
| Coefficient | [f _{0r}] | 1.133 | |

(Depends upon type of design and lubrication at reference conditions)

| | | | |
|--|------------------|-----------|--------------------|
| Coefficient | $[f_{1r}]$ | 0.000150 | |
| (Depends upon type of design and load at reference conditions) | | | |
| Heat sink reference surface | $[A_S]$ | 36285.395 | mm ² |
| Reference load | $[P_{1r}]$ | 7.800 | kN |
| Bearing mean diameter | $[d_m]$ | 175.000 | mm |
| Bearing-specific reference heat flow density | $[q_r]$ | 16.000 | kW/m ² |
| kinematic viscosity (for reference conditions) | $[v_r]$ | 22.000 | mm ² /s |
| Thermal nominal speed | $[n_{\theta r}]$ | 4357.123 | 1/min |

Thermally safe operating speed according to DIN 732:

| | | | |
|---|----------------|----------|--------------------|
| Coefficient | $[f_0]$ | 1.133 | |
| (Depends upon type of design and lubrication) | | | |
| Coefficient | $[f_1]$ | 0.000085 | |
| (Depends upon type of design and load) | | | |
| Heat flow (dissipated by the bearing support surface) | $[\Phi_S]$ | 0.562 | kW |
| Total heat flow | $[\Phi]$ | 0.562 | kW |
| Dynamic equivalent load | $[P_1]$ | 4278.235 | N |
| kinematic viscosity at service temperature | $[v]$ | 9.732 | mm ² /s |
| Lubricant film parameter | $[K_L]$ | 0.599 | |
| Charge parameter | $[K_P]$ | 0.052 | |
| Speed ratio | $[f_n]$ | 1.304 | |
| Thermally safe operating speed | $[n_{\theta}]$ | 5680.429 | 1/min |

Shaft 'Shaft2', Rolling bearing 'Bearing2':

Thermal nominal speed according to DIN ISO 15312:

| | | | |
|---|---|-----------|--------------------|
| Type of support | Angular contact ball bearing (single row) | | |
| Bearing number | SKF 7028 ACD/HCP4A | | |
| Design series | 70 | | |
| Speed | $[n]$ | 3000.000 | 1/min |
| Coefficient | $[f_{0r}]$ | 1.133 | |
| (Depends upon type of design and lubrication at reference conditions) | | | |
| Coefficient | $[f_{1r}]$ | 0.000150 | |
| (Depends upon type of design and load at reference conditions) | | | |
| Heat sink reference surface | $[A_S]$ | 36285.395 | mm ² |
| Reference load | $[P_{1r}]$ | 7.800 | kN |
| Bearing mean diameter | $[d_m]$ | 175.000 | mm |
| Bearing-specific reference heat flow density | $[q_r]$ | 16.000 | kW/m ² |
| kinematic viscosity (for reference conditions) | $[v_r]$ | 22.000 | mm ² /s |
| Thermal nominal speed | $[n_{\theta r}]$ | 4357.123 | 1/min |

Thermally safe operating speed according to DIN 732:

| | | | |
|---|----------------|----------|--------------------|
| Coefficient | $[f_0]$ | 1.133 | |
| (Depends upon type of design and lubrication) | | | |
| Coefficient | $[f_1]$ | 0.000074 | |
| (Depends upon type of design and load) | | | |
| Heat flow (dissipated by the bearing support surface) | $[\Phi_S]$ | 0.562 | kW |
| Total heat flow | $[\Phi]$ | 0.562 | kW |
| Dynamic equivalent load | $[P_1]$ | 4219.989 | N |
| kinematic viscosity at service temperature | $[v]$ | 9.732 | mm ² /s |
| Lubricant film parameter | $[K_L]$ | 0.599 | |
| Charge parameter | $[K_P]$ | 0.044 | |
| Speed ratio | $[f_n]$ | 1.318 | |
| Thermally safe operating speed | $[n_{\theta}]$ | 5744.254 | 1/min |

Shaft 'Shaft2', Rolling bearing 'RollerBearing5':

Thermal nominal speed according to DIN ISO 15312:

| | | | |
|---|---|-----------|--------------------|
| Type of support | Angular contact ball bearing (single row) | | |
| Bearing number | SKF 7028 ACD/HCP4A | | |
| Design series | 70 | | |
| Speed | [n] | 3000.000 | 1/min |
| Coefficient | [f _{0r}] | | 1.133 |
| (Depends upon type of design and lubrication at reference conditions) | | | |
| Coefficient | [f _{1r}] | | 0.000150 |
| (Depends upon type of design and load at reference conditions) | | | |
| Heat sink reference surface | [A _s] | 36285.395 | mm ² |
| Reference load | [P _{1r}] | 7.800 | kN |
| Bearing mean diameter | [d _m] | 175.000 | mm |
| Bearing-specific reference heat flow density | [q _r] | 16.000 | kW/m ² |
| kinematic viscosity (for reference conditions) | [ν _r] | 22.000 | mm ² /s |
| Thermal nominal speed | [n _{θr}] | 4357.123 | 1/min |

Thermally safe operating speed according to DIN 732:

| | | | |
|---|-------------------|----------|--------------------|
| Coefficient | [f ₀] | | 1.133 |
| (Depends upon type of design and lubrication) | | | |
| Coefficient | [f ₁] | | 0.000068 |
| (Depends upon type of design and load) | | | |
| Heat flow (dissipated by the bearing support surface) | [Φ _S] | 0.562 | kW |
| Total heat flow | [Φ] | 0.562 | kW |
| Dynamic equivalent load | [P ₁] | 2770.934 | N |
| kinematic viscosity at service temperature | [ν] | 9.732 | mm ² /s |
| Lubricant film parameter | [K _L] | 0.599 | |
| Charge parameter | [K _P] | 0.027 | |
| Speed ratio | [f _n] | 1.333 | |
| Thermally safe operating speed | [n _θ] | 5808.079 | 1/min |

Shaft 'Shaft2', Rolling bearing 'RollerBearing6':

Thermal nominal speed according to DIN ISO 15312:

| | | | |
|---|---|-----------|--------------------|
| Type of support | Cylindrical roller bearing (single row) | | |
| Bearing number | SKF NJ 1024 ML | | |
| Design series | 10 | | |
| Speed | [n] | 3000.000 | 1/min |
| Coefficient | [f _{0r}] | | 1.333 |
| (Depends upon type of design and lubrication at reference conditions) | | | |
| Coefficient | [f _{1r}] | | 0.000200 |
| (Depends upon type of design and load at reference conditions) | | | |
| Heat sink reference surface | [A _s] | 26389.378 | mm ² |
| Reference load | [P _{1r}] | 9.150 | kN |
| Bearing mean diameter | [d _m] | 150.000 | mm |
| Bearing-specific reference heat flow density | [q _r] | 16.000 | kW/m ² |
| kinematic viscosity (for reference conditions) | [ν _r] | 22.000 | mm ² /s |
| Thermal nominal speed | [n _{θr}] | 4308.631 | 1/min |

Thermally safe operating speed according to DIN 732:

| | | | |
|---|-------------------|----------|--------------------|
| Coefficient | [f ₀] | 1.333 | |
| (Depends upon type of design and lubrication) | | | |
| Coefficient | [f ₁] | 0.000200 | |
| (Depends upon type of design and load) | | | |
| Heat flow (dissipated by the bearing support surface) | [Φ _S] | 0.409 | kW |
| Total heat flow | [Φ] | 0.409 | kW |
| Dynamic equivalent load | [P ₁] | 13.770 | N |
| kinematic viscosity at service temperature | [ν] | 9.732 | mm ² /s |
| Lubricant film parameter | [K _L] | 0.599 | |
| Charge parameter | [K _P] | 0.000 | |
| Speed ratio | [f _n] | 1.362 | |
| Thermally safe operating speed | [n _θ] | 5869.668 | 1/min |

The reference conditions for calculating the thermal nominal speed are taken from the DIN ISO 15312 standard.

End of Report lines: 160

PŘÍLOHA č. 3

Výpočet zatěžujících stavů

Výpočet 2. zatěžovacího stavu

Přehled řezných podmínek pro Rovinná plocha

Údaje o materiálu

MC, P2.1.Z.AN, Tvrdost: 175 HB, Materiálová skupina:P2.1.Z.AN

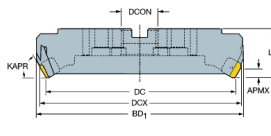
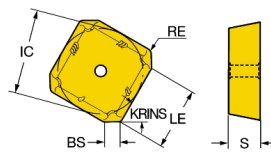
Popis úlohy



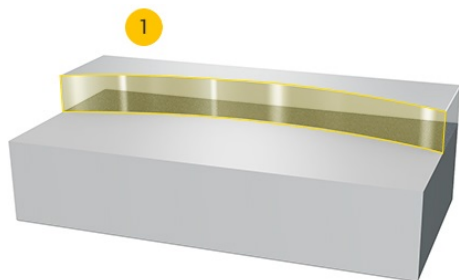
Rovinná plocha

| | |
|------------------------------------|--------------|
| Typ operace (CTPT) | předobrobení |
| Kód stavu povrchu obrobku (WKPSCC) | Předobrobený |
| Hloubka obráběcího prvku (DEPTHMF) | 12 mm |
| Parametr obecné šířky (WIDTH) | 250 mm |
| Parametr obecné délky (LENGTH) | 100 mm |

Doporučené řešení

| | | 360-200Q60-Z10E19 | 360R-19 06M-PH 4230 |
|---|-------|--|---|
| | |  |  |
| Typ nástroje (ASMTYPE) | | Indexovatelná | Nástroj |
| Operace (SUBOPSEQ) | | čelní frézování | Destička |
| Nástroj (TOOL) | | | |
| Počet kusů (#) | | | |
| Typ upínače (ADINTMS) | | Arbor -ISO 6462 -C (4 bolts) - metric: 60S | |
| Třída (GRADE) | | 4230 | |
| Způsob přívodu řezné kapaliny (COOLSTL) | | Suchý | |
| Doba obrábění jedné vlastnosti (TMF) | min:s | 00:21,780 | |
| Počet obráběných ploch/tvarů (TLIFEC) | | 104 | |

Řezné podmínky



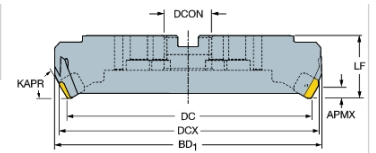
Vysvětlivky

1 Předobrobení

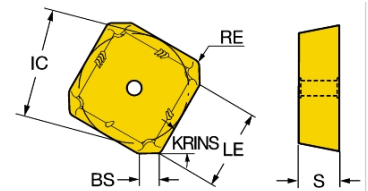
| | 1 | |
|--|-----------|----------------------|
| Pracovní záběr (AE) | 125 | mm |
| Hloubka řezu (AP) | 12 | mm |
| Počet úběrů ve směru AE (NOPAE) | 2 | |
| Počet úběrů ve směru AP (NOPAP) | 1 | |
| Řezná rychlost (VC) | 159 | m/min |
| Rychlost otáčení vřetena (N) | 242 | 1/min |
| Posuv na zub (FZ) | 0,462 | mm |
| Rychlost posuvu na obráběném průměru (VFM) | 1120 | mm/min |
| Řezný výkon (PPC) | 67 | kW |
| Řezný moment (MMC) | 2650 | Nm |
| Rychlost odebírání materiálu (QQ) | 1680 | cm ³ /min |
| Doba řezání celková (TCCT) | 00:21,480 | min:s |
| Mimořezná doba celková (TNCT) | 00:00,300 | min:s |
| Délka životnosti nástroje (TLIFEL) | 41 | m |
| Doba životnosti nástroje (TLIFET) | 37 | min |

Informace o produktu

| | | |
|---------------------------|--|--|
| Popis | | |
| Čelní fréza CoroMill® 360 | | |
| Objednací kód | | |
| ISO | 360-200Q60-Z10E19 | |
| ANSI | 360-200Q60-Z10E19 | |
| EDP | | |
| Čárový kód | 12349411 | |
| KAPR | úhel břítu nástroje | 60 deg |
| DC | řezný průměr | 200 mm |
| DCX | maximální řezný průměr | 215 mm |
| CICTP1 | počet řezných prvků | 10 |
| CUTINTMASTERP1 | část 2 identifikátorů rozhraní řezného prvku | CoroMill 360 -size 19 (360R-1906) |
| APMXEFW | maximální hloubka řezu | 9 mm |
| APMXFFW | maximální hloubka řezu | 13 mm |
| RMPX | maximální úhel zahlubování | 0 deg |
| AZ | maximální hloubka vnoření | 0 mm |
| CPDF | diferenciál řezné rozteče | False |
| ZEFP | počet efektivních obvodových řezných hran | 10 |
| ADINTMS | adaptivní rozhraní ve směru stroje | Arbor -ISO 6462 -C (4 bolts) - metric: 60S |
| HAND | orientace | R |
| DPC | možnost tlumení | False |
| CNSC | kód provedení vstupu pro řeznou kapalinu | 0: without coolant |
| DCON | spojovací průměr | 60 mm |
| STDNO | standardní číslo | ISO 6462:2011 |
| STDLET | standardní písmeno | C |
| DBC | průměr roztečné kružnice otvorů pro šrouby | 101.6 mm |
| LF | funkční délka | 80 mm |
| BD1 | průměr tělesa | 226.6 mm |
| LB1 | délka tělesa | 13 mm |
| TQP1 | moment | 16 Nm |
| BMC | kód materiálu tělesa | Steel |
| RPMX | maximální rychlost otáčení | 640 r/min |
| WT | hmotnost prvku | 19.78 kg |
| LCS | stav životnosti | 20 |
| RELEASEPACK | identifikace vydaného balíku | 09.1 |



| | | |
|--|------------------------------|-----------------------|
| Popis | | |
| Břítové destičky CoroMill® 360 pro frézování | | |
| Objednací kód | | |
| ISO | 360R-19 06M-PH 4230 | |
| ANSI | 360R-19 06M-PH 4230 | |
| EDP | | |
| Čárový kód | 12368764 | |
| TMC1ISO | Třídění materiálu úroveň 1 | P;K |
| CTPT | typ operace | Heavy |
| CUTINTSIZESHAPE | velikost a tvar destičky | CoroMill 360 -1906 |
| IC | průměr vepsané kružnice | 18.94 mm |
| SC | kód tvaru břítové destičky | S |
| LE | účinná délka břitu | 15 mm |
| BS | délka hladicího břitu | 2.2 mm |
| BSR | poloměr hladicího břitu | 200 mm |
| RE | poloměr rohu | 1.6 mm |
| KRINS | úhel hlavního břitu nástroje | 60 deg |
| HAND | orientace | R |
| GRADE | třída | 4230 |
| SUBSTRATE | základní materiál | HC |
| COATING | povlak | CVD Ti(C,N)+Al2O3+TiN |
| S | tloušťka destičky | 6.35 mm |
| WT | hmotnost prvku | 0.0261 kg |
| LCS | stav životnosti | 20 |
| RELEASEPACK | identifikace vydaného balíku | 09.1 |



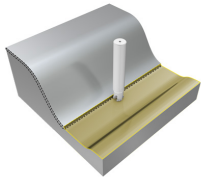
Výpočet 3. zatěžovacího stavu

Přehled řezných podmínek pro Tvarová plocha - torické/se zaoblením rohů

Údaje o materiálu

MC, P2.1.Z.AN, Tvrdost: 175 HB, Materiálová skupina:P2.1.Z.AN

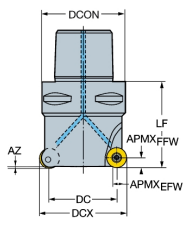
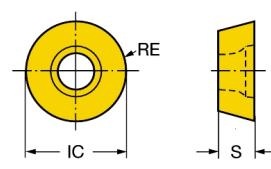
Popis úlohy



Tvarová plocha - torické/se zaoblením rohů

| | |
|------------------------------------|----------------------|
| Allowance depth of cut (ALLOW) | 2 mm |
| Hodnota tvrdosti Ra (RRA) | 10 μm |
| Volume to be machined (VOLM) | 1000 mm ³ |
| Hloubka obráběcího prvku (DEPTHMF) | 50 mm |
| Úhel šikmého nájezdu (TAXANGS) | 10 ° |

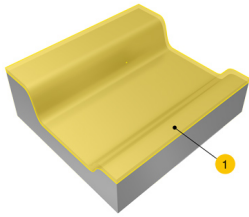
Doporučené řešení

| | | R300-035C3-12H | R300-1240M-PH 4230 |
|---|-------|---|---|
| | |  |  |
| Typ nástroje (ASMTYPE) | | Nástroj | Destička |
| Operace (SUBOPSEQ) | | Kopírovací frézování (torické/poloměr) | |
| Nástroj (TOOL) | | R300-035C3-12H | R300-1240M-PH 4230 |
| Počet kusů (#) | | 1 | 4 |
| Typ upínače (ADINTMS) | | size C3 | |
| Třída (GRADE) | | 4230 | |
| Způsob přívodu řezné kapaliny (COOLSTL) | | Vnitřní | |
| Řezná kapalina (COOLT) | | Stlačený vzduch | |
| Doba obrábění jedné vlastnosti (TMF) | min:s | 00:00,744 | |
| Počet obráběných ploch/tvarů (TLIFEC) | | 2190 | |

Řezné podmínky

Vysvětlivky

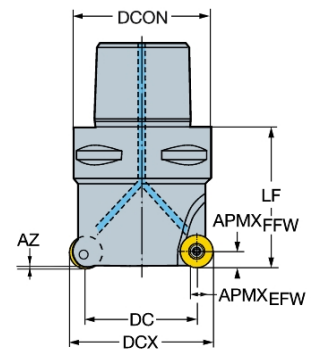
1 Kopírovací frézování



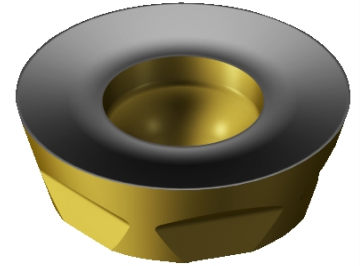
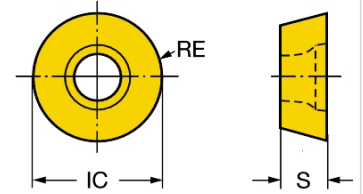
| | 1 | |
|--|-----------|----------------------|
| Pracovní záběr (AE) | 11,9 | mm |
| Hloubka řezu (AP) | 2,03 | mm |
| Řezná rychlost (VC) | 313 | m/min |
| Rychlost otáčení vřetena (N) | 3000 | 1/min |
| Posuv na zub (FZ) | 0,278 | mm |
| Rychlost posuvu na obráběném průměru (VFM) | 3340 | mm/min |
| Řezný výkon (PPC) | 5,52 | kW |
| Rychlost odebírání materiálu (QQ) | 80,4 | cm ³ /min |
| Doba řezání celková (TCCT) | 00:00,744 | min:s |
| Délka životnosti nástroje (TLIFEL) | 91 | m |
| Doba životnosti nástroje (TLIFET) | 27 | min |

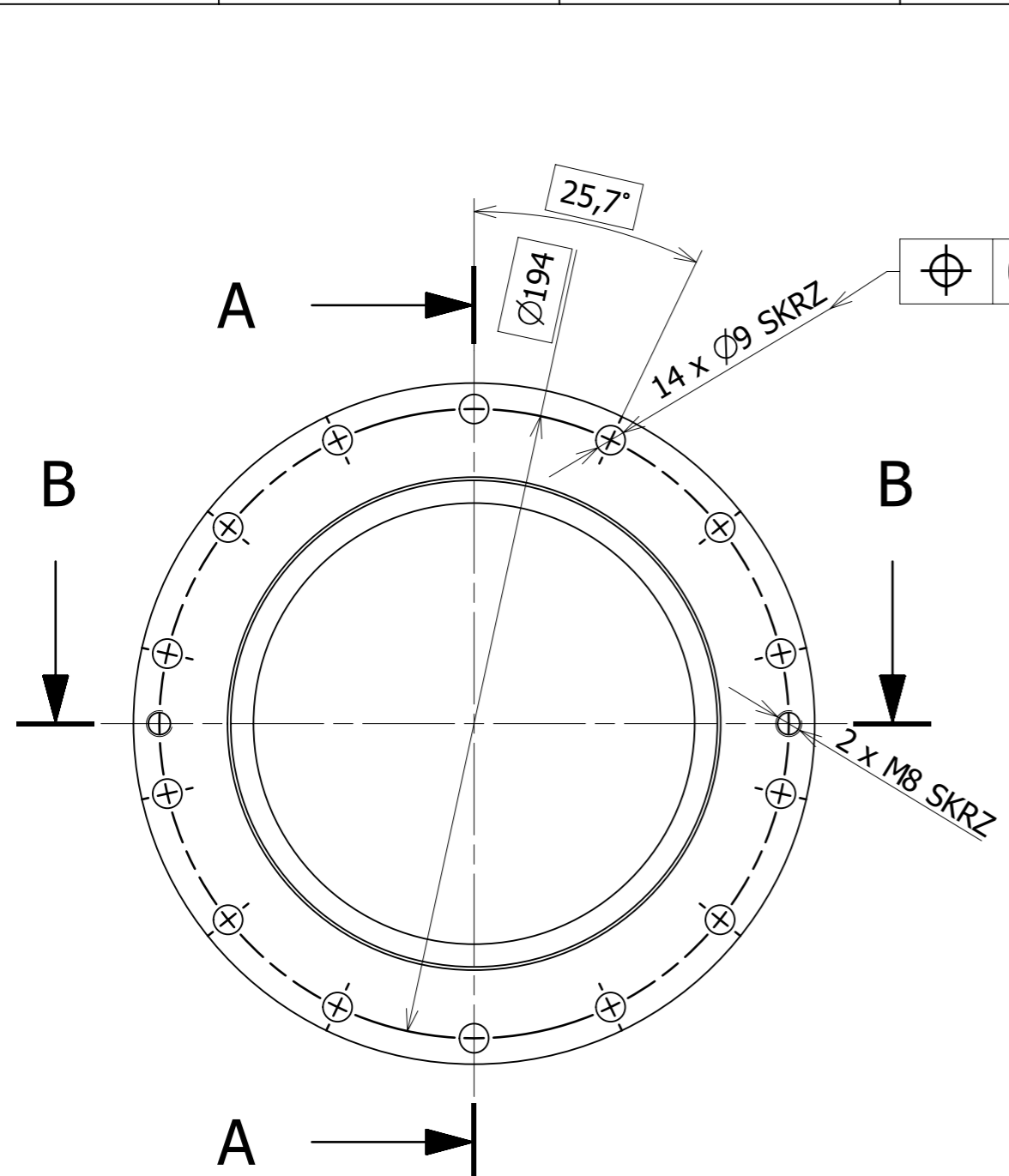
Informace o produktu

| | | |
|---------------------------|--|---|
| Popis | | |
| Čelní fréza CoroMill® 300 | | |
| Objednací kód | | |
| ISO | R300-035C3-12H | |
| ANSI | R300-035C3-12H | |
| EDP | | |
| Čárový kód | 11881365 | |
| KAPR | úhel bříty nástroje | deg |
| DC | řezný průměr | 23 mm |
| DCX | maximální řezný průměr | 35 mm |
| CICTP1 | počet řezných prvků | 4 |
| CUTINTMASTERP1 | část 2 identifikátorů rozhraní řezného prvku | CoroMill 300 -size 1240 (R300-1240) |
| APMXEFW | maximální hloubka řezu | 9 mm |
| APMXFFW | maximální hloubka řezu | 6 mm |
| RMPX | maximální úhel zahlubování | 10.5 deg |
| AZ | maximální hloubka vnoření | 3 mm |
| CPDF | diferenciál řezné rozteče | False |
| ZEFP | počet efektivních obvodových řezných hran | 4 |
| ADINTMS | adaptivní rozhraní ve směru stroje | Coromant Capto (bolt and segment clamping) -size C3 |
| HAND | orientace | R |
| DPC | možnost tlumení | False |
| CNSC | kód provedení vstupu pro řeznou kapalinu | 3: axial concentric and radial entry |
| CP | tlak řezné kapaliny | 10 bar |
| DCON | spojovací průměr | 32 mm |
| LF | funkční délka | 43 mm |
| BD1 | průměr tělesa | 28.3 mm |
| LB1 | délka tělesa | 23 mm |
| TQP1 | moment | 3 Nm |
| BMC | kód materiálu tělesa | Steel |
| RPMX | maximální rychlost otáčení | 32900 r/min |
| WT | hmotnost prvku | 0.3 kg |
| LCS | stav životnosti | 20 |
| RELEASEPACK | identifikace vydaného balíku | 04.2 |

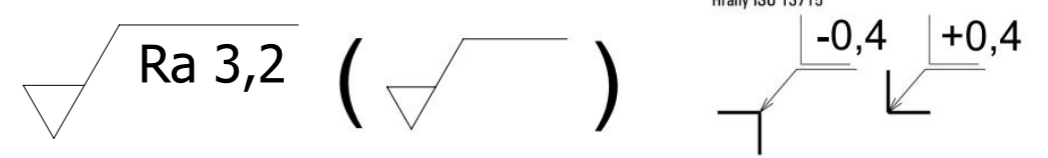
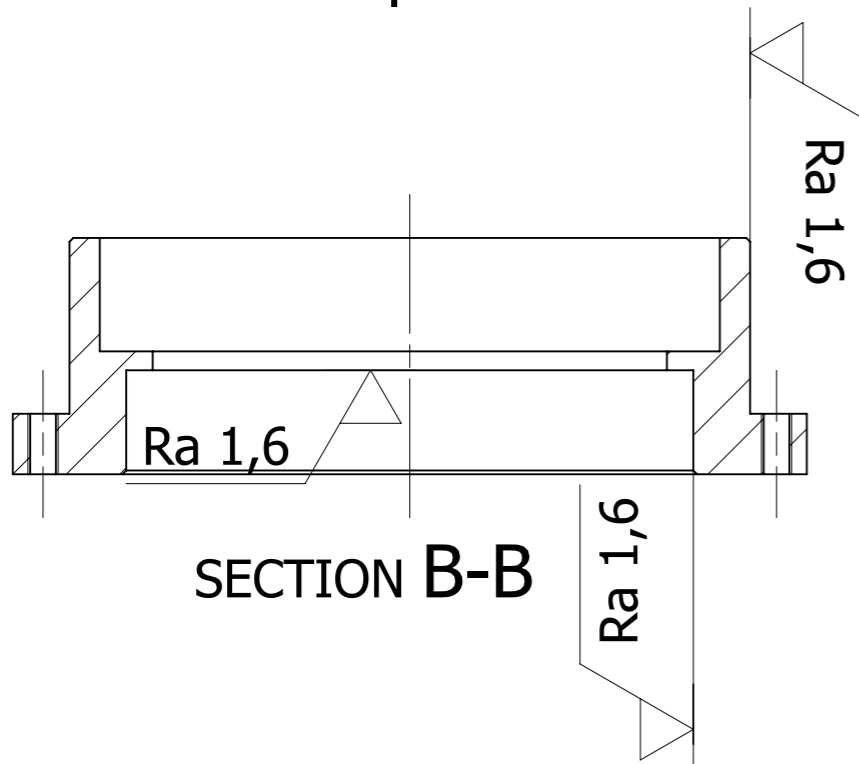
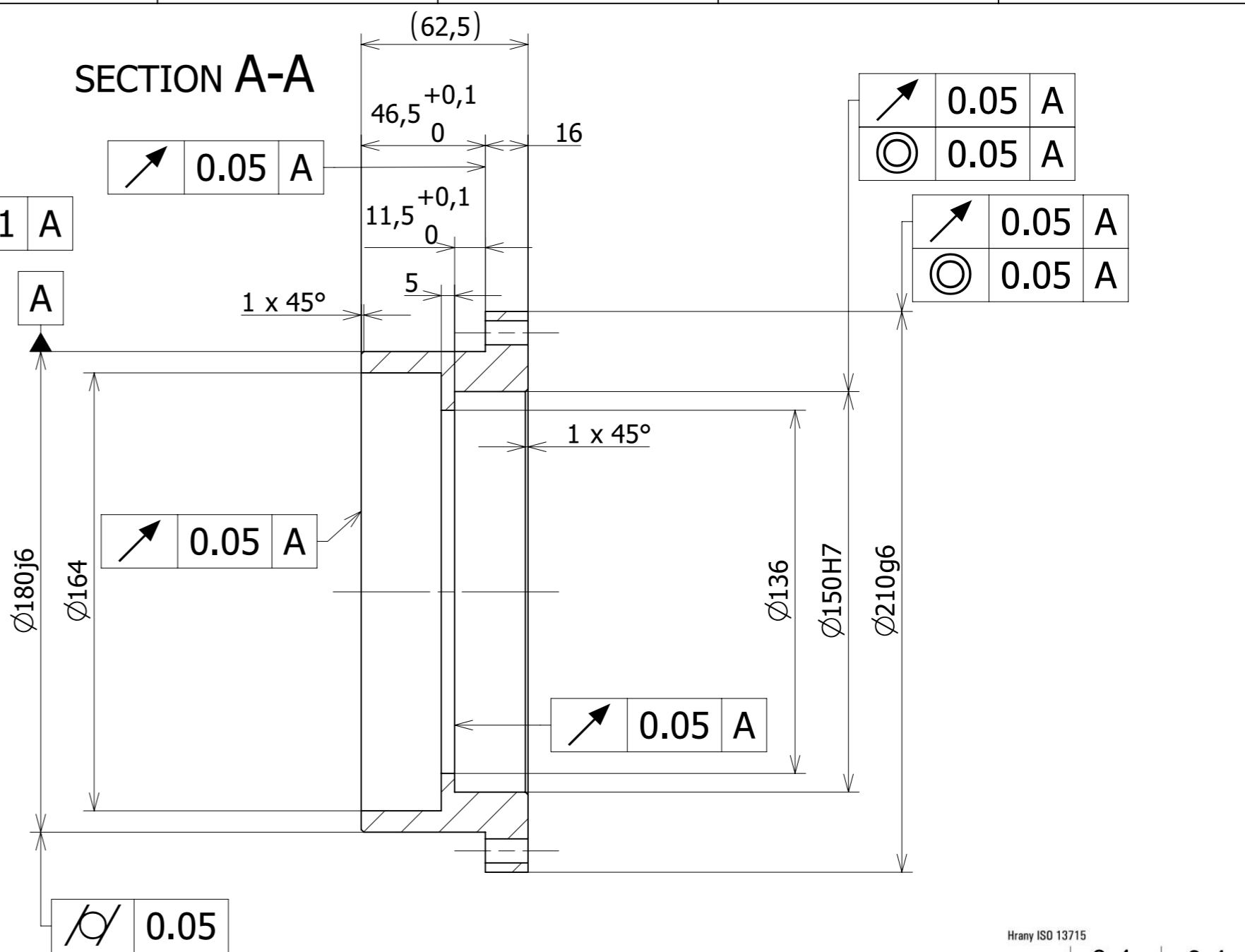


| | | |
|--|------------------------------|---|
| Popis | | |
| Břítové destičky CoroMill® 300 pro frézování | | |
| Objednací kód | | |
| ISO | R300-1240M-PH | 4230 |
| ANSI | R300-1240M-PH | 4230 |
| EDP | | |
| Čárový kód | 12199003 | |
| TMC1ISO | Třídění materiálu úroveň 1 | P;K |
| CTPT | typ operace | Heavy |
| CUTINTSIZESHAPE | velikost a tvar destičky | CoroMill 300 -1240 |
| IC | průměr vepsané kružnice | 12 mm |
| SC | kód tvaru břítové destičky | R |
| RE | poloměr rohu | 6 mm |
| HAND | orientace | N |
| GRADE | třída | 4230 |
| SUBSTRATE | základní materiál | HC |
| COATING | povlak | CVD Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN |
| S | tloušťka destičky | 3.96875 mm |
| WT | hmotnost prvku | 0.0055 kg |
| LCS | stav životnosti | 20 |
| RELEASEPACK | identifikace vydaného balíku | 07.1 |





SECTION A-A



| | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|---------------|------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|----------|-----------------|
| | D 300 - 130 | EN 10025 | --- | 11 373 | --- | 4,144 | --- | DP010000 | 35 |
| Pocet ks. | Nazev - rozmer | Polotovar | Material | T.O. | C.hmot. | Hr.hmot. | Cislo vykresu sestavy | Poz. | |
| Quant. | Title - size | Blank | Material | C.W. | Weight | R. weight | Assembly drawing no. | Pos. | |
| CAD 1 | Datum / Date | Jmeno / Name | | | | | | | |
| Kreslil / Drawn by | 17.5. 2018 | Jiří Petrou | | | | | | | |
| Prezkoušel / Checked by | --- | --- | | | | | | | |
| Schválil / Approved by | --- | --- | | | | | | | |
| Index zmeny | Popis zmeny / change description | Schval. / APP | Datum / Date | Podpis / Signature | Poznamka / Note: | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | | | | |
| Tolerance / Tolerovani ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK | Soubor-model / ASM-file | | krouzek_mezi_kuzelik_v | | Projekt / Project: | --- | | | Meritko / Scale |
| | Soubor-vykres / DRW-file | | krouzek_mezi_kuzelik_v | | C.sestavy / Assembly No. | DP010034 | | | 1:2 |
| Nazev / Title | | | | | Rev. | Cislo vykresu / Drawing No. | | | Format |
| POUZDRO PASTORKU | | | | | 0 | DP010034 | | | A3 |
| | | | | | List / sheet no. | 1 | Pocet listu / sheets | 1 | |

