ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: **N0715A270017 – Konstruování strojů a technických zařízení**
Studijní specializace: **Konstruování výrobních strojů a zařízení**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brousicí hlava BSMT1 pro multifunkční pracoviště S-MT

Autor: Bc. David Fait

Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk HUDEC, CSc.

Akademický rok 2020/2021

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Bc. David FAIT**
Osobní číslo:	**S19N0196P**
Studijní program:	**N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení**
Studijní obor:	**Konstruování výrobních strojů a zařízení**
Téma práce:	**Brousicí hlava BSMT1 pro multifunkční pracoviště S-MT**
Zadávající katedra:	**Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:
Analýza a rešerše zařízení. Koncepce a konstrukce brousicí hlavy. Varianty řešení a výběr optimální varianty. Zpracování výpočtového modelu a technické dokumentace brousicí hlavy. Technickoekonomické hodnocení řešení.

Základní technické údaje:
Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Upřesnění vstupních údajů u zadavatele
2. Zpracování konstrukční dokumentace a technicko-ekonomické hodnocení

Rozsah diplomové práce: **40-60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

[1] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra: obecné strojní části.* Praha: Computer Press, 1999. ISBN 80-7226-055-3
Podkladové materiály, výkresy, prospekty, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Zdeněk Hudec, CSc.**
Katedra konstruování strojů

Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Kubíček**
ŠKODA MACHINE TOOL a.s., Plzeň

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2021**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 16. října 2020

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

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	**Příjmení** Bc. Fait	**Jméno** David	
STUDIJNÍ PROGRAM	N0715A270017 Konstruování strojů a technických 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	Brousicí hlava BSMT1 pro multifunkční pracoviště S-MT		

FAKULTA	strojní		**KATEDRA**	KKS		**ROK ODEVZD.**	2021

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	114		**TEXTOVÁ ČÁST**	64		**GRAFICKÁ ČÁST**	50

STRUČNÝ POPIS (MAX. 10 ŘÁDEK) **ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY**	Diplomová práce obsahuje přehled výrobního programu zadavatele, firmy ŠMT a.s. Dále následuje popis technologie broušení. Další část se věnuje konstrukčnímu návrhu brousicí hlavy. Rozměry ozubených kol a hřídelů byly získány výpočtovými programy KISSsys a KISSsoft. Charakteristiky dalších spojení byly navrženy pomocí programu Mitcalc. Dále byla zjištěna tuhost a vlastní kmity pomocí metody konečných prvků. V neposlední řadě se práce věnuje automatickému vyvažování brusného kotouče. V závěru práce přináší model a konstrukční dokumentaci hlavy.
KLÍČOVÁ SLOVA **ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE**	Brousicí hlava, obráběcí stroje, broušení, metoda konečných prvků, automatické vyvažování kotouče, KISSsys, KISSsoft, Siemens NX

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	**Surname** Bc. Fait	**Name** David	
STUDY PROGRAMME	N0715A270017 Design engineering of machines and technical devices		
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	BSMT1 grinding head for S-MT multifunctional workplace		

FACULTY	Mechanical Engineering		**DEPARTMENT**	Machine Design		**SUBMITTED IN**	2021

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	114		**TEXT PART**	64		**GRAPHICAL PART**	50

BRIEF DESCRIPTION **TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS**	This diploma thesis includes products overview of company ŠMT a.s. After that follows description of grinding technology. Gear and shaft dimensions were designed by calculation programs KISSsys and KISSsoft. Characteristic of other connections were designed by program Mitcalc. Furthermore, the stiffness and natural oscillations were determined using the finite element method. Finally yet importantly, the work deals with the automatic balancing of the grinding wheel. At the end of the work brings a model and design documentation of the head.
KEY WORDS	Grinding head, machining machines, finite element method, automatic wheel balancing, KISSsys, KISSsoft, Siemens NX

Rád bych v úvodu své diplomové práce poděkoval doc. Ing. Zdeňku Hudcovi, CSc., za cenné rady a pomoc při vypracování.

Obsah

Přehled použitých zkratek a symbolů ... 9
Seznam obrázků ... 11
Seznam tabulek ... 12
Použitý software ... 13
Seznam příloh ... 13
1. Úvod ... 14
1.1. Historie Škodových závodů v Plzni ... 14
1.2. Výrobní program ŠMT a.s. ... 14
1.2.1. Horizontální vyvrtávačky ... 14
1.2.2. Univerzální horizontální soustruhy ... 16
1.2.3. Další produkty ... 18
1.2.4. Příslušenství strojů ... 20
2. Vstupní požadavky na konstrukci brousicí hlavy BSMT1 pro multifunkční stroj S – MT 21
3. Broušení ... 22
3.1. Popis technologie broušení ... 22
3.2. Závislost vlastností stroje na charakteristice broušení ... 23
3.3. Zatěžovací stavy ... 28
4. Varianty koncepce brousicí hlavy ... 28
4.1. Popis variant ... 28
4.1.1. Otočná bruska s pohonem kotouče vřetenem stroje s kladkou dole ... 28
4.1.2. Otočná bruska s pohonem kotouče vřetenem stroje a polozkříženým opásáním 29
4.1.3. Otočná bruska s pohonem kotouče vřetenem stroje s kladkou nahoře ... 29
4.1.4. Otočná bruska s pohonem samostatným motorem ... 30
4.2. Hodnocení variant ... 30
5. Konstrukční návrh brousicí hlavy BSMT1 ... 31
5.1. Uspořádání na pracovišti ... 31
5.2. Výpočtový model KISSsys/KISSsoft ... 32
5.2.1. Vstupní hodnoty ... 32
5.2.2. Počáteční kontrola navržených součástí pohonu a jejich úpravy ... 34
5.3. Konstrukční návrh – model konstrukce hlavy ... 41

5.3.1. Připojení zařízení ke smykadlu stroje – těleso brousicí hlavy 41
5.3.2. Otočené těleso brousicího zařízení 42
5.3.3. Dimenzování šroubů a T-matic 43
5.3.4. Návrh otáčecího mechanismu 46
5.4. Řemenový převod 50
5.5. Napínací kladka řemenového převodu 50
5.6. Tuhost brusky v místě nástroje 53
5.6.1. Tuhost uložení vřetene 54
5.6.2. Tuhost těles 54
5.6.3. Celková tuhost – porovnání s mezní hodnotou 55
5.7. Vlastní frekvence a tvary kmitů sestavy 55
5.8. Automatické vyvažování a indikace dotyku kotouče 57
5.8.1. Princip vyvažování 57
5.8.2. Výběr vyvažovacího systému 59
6. Závěr 61
6.1. Technicko-ekonomické hodnocení 61
6.2. Tabulka technických parametrů 61
6.3. Náčrt 3D, 2D 62
Seznam použitých zdrojů 64

Přehled použitých zkratek a symbolů

KKS	Katedra konstruování strojů
ZČU	Západočeská univerzita v Plzni
CNC	Computer numerical control
EXPO	Světová výstava
ŠMT a.s.	Jméno zadavatele
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff – druh laminátu
NC	Numerical control
ČSN	Česká technická norma
CAD	Computer-aided design
v_k	Řezná rychlost kotouče
v_o	Obvodová rychlost obrobku
a_r	Hloubka řezu
C_p	Konstanta udávající poměr mezi šířkou kotouče a záběru při podélném Broušení
C_z	Konstanta udávající poměr mezi šířkou kotouče a záběru při finišování
D_k	Průměr kotouče
B	Šířka kotouče
f_{sp}	Šířka záběru v podélném směru
f_{sz}	Šířka záběru při zapichování
f_s	Šířka záběru
d_0	Maximální průměr obrobku
K_c	Měrná řezná síla
F	Tečná složka řezné síly
f_R	Součinitel radiální složky řezné síly
F_R	Radiální složka řezné síly
P_K	Výkon brousicího vřetene
P_0	Výkon vřetene obrobku
n_K	Jmenovité otáčky kotouče
D_{Kmin}	Minimální průměr kotouče
n_{KM}	Maximální otáčky kotouče – při D_{Kmin}
M_L	Jmenovitý moment
M_{LnKM}	Moment při maximálních otáčkách kotouče
T_c	Předpokládaná doba běhu
q	Poměrná doba běhu
q_m	Poměrný moment
q_n	Poměrné otáčky
L_x	Vzdálenost uložení kotouče
L_z	Výška zařízení
AV	Automatická výměna
x, y, z	Souřadnice průvodiče síly
f_s	Statická bezpečnost
L_h	Životnost ložiska
S_0	Koeficient bezpečnosti ložiska
SDA	Dynamická bezpečnost
SSA	Statická bezpečnost
F_Q	Tíha otočné části
F_{rez}	Vektor působící síly

r_F	Průvodič řezné síly
r_Q	Souřadnice průvodiče tíhové síly
F_c	Vektor zatížení
M	Moment v počátku souřadnic
s	Poloha středu pružnosti v souřadném systému
M_s	Výsledný moment na spojení
F_{pmin}	Minimální předepínací síla
F_{pmax}	Maximální předepínací síla
M_{Umin}	Minimální utahovací moment
M_{Umax}	Maximální utahovací moment
M_s	Střední hodnota upínacího momentu šroubů
L	Délka ramene momentového klíče
F_k	Síla na klíči
r_{Qxy}	Vzdálenost průvodiče síly od počátku souřadnic ve vodorovné rovině
M_Q	Točivý moment
a_1	Vnější poloměr drážky
b	Vnitřní poloměr drážky
c	Průměr hrany otáčení na pevné skříni
L_p	Délka mezi podporami
a	Vyložení tíhy
F_{R1}	Reakce na hraně roviny
F_{R2}	Reakce v místě šroubu
f	Koeficient tření
M_{2a}	Třecí moment
k	Poloměr axiálního ložiska
M_{2b}	Klopný moment
n_1	Zvolené vstupní otáčky otočné části
D_1, D_2	Roztečné průměry kol
i_{12}	Převod
a	Osová vzdálenost
k_c	Celková tuhost
k_{vret}	Tuhost uložení vřetene
k_{tel}	Tuhost těles brusky
k_{str}	Tuhost stroje
k_{obr}	Tuhost obrobku
ε	Posunutí
f	Vlastní frekvence
f_{01}, f_{02}	Frekvence zubových záběrů
f_{b01}, f_{b02}	Frekvence zubových záběrů rozšířená bezpečností
gcm	Vyvažovací výkon

Seznam obrázků

Obr. 1: Horizontální vyvrtávačka FCW 150 [3] 15
Obr. 2: Horizontální vyvrtávačka HCW 3000 [3] 16
Obr. 3: Soustruh typu SR [3] 17
Obr. 4: Frézovací stroj typu FC [3] 18
Obr. 5: Čtyři pracoviště soustruhového typu u zákazníka [3] 19
Obr. 6: Portál v provedení GANTRY WPA [3] 19
Obr. 7: Frézovací hlava [3] 20
Obr. 8: Zařízení pro automatickou výměnu hlav [3] 20
Obr. 9: Statický zásobník nástrojů, nezávisle pohyblivý robot [3] 21
Obr. 10: Naklápěcí stůl Škoda TDV TILT [3] 21
Obr. 11: Princip broušení [8] 22
Obr. 12: Koncepce varianty 1 29
Obr. 13: Parametry varianty 1 29
Obr. 14: Koncepce varianty 2 29
Obr. 15: Koncepce varianty 3 30
Obr. 16: Rozměry varianty 3 30
Obr. 17: Koncepce varianty 4 30
Obr. 18: Parametry varianty 4 30
Obr. 19: Uspořádání na pracovišti 31
Obr. 20: Load Spectrum 33
Obr. 21: Zadání síly na kotouč 33
Obr. 22: Zadání okrajové podmínky 33
Obr. 23: Výpočtový model hlavy 34
Obr. 24: Výpočet kol 34
Obr. 25: Kontrola ozubení 35
Obr. 26: Dovolené bezpečnosti ozubení 35
Obr. 27: Bezpečnost ložisek – část 1 36
Obr. 28: Bezpečnost ložisek – část 2 36
Obr. 29: Výpočtový model – Hřídel 1 37
Obr. 30: Výpočtový model – Hřídel 2 38
Obr. 31: Výpočtový model – Hřídel 3 38
Obr. 32: Výpočtový model – Hřídel 4 39
Obr. 33: Výpočet řemenu 39
Obr. 34: Kontrola hřídelí 40
Obr. 35: Kontrola pera na hřídeli 3 40
Obr. 36: Kontrola pera na vřeteni 40
Obr. 37: Zadání lisovaného spoje 41
Obr. 38: Výsledné bezpečnosti 41
Obr. 39: Univerzální příruba 41
Obr. 40: Souřadnice průvodiče řezné síly – 1 43
Obr. 41: Souřadnice průvodiče řezné síly – 2 44
Obr. 42: Zadání výpočtu spoje 45
Obr. 43: Zadání polohy děr 45
Obr. 44: Schéma spojení 45
Obr. 45: Bezpečnosti šroubového spojení 46

Obr. 46: Průměry na vrchní straně pevné části 47
Obr. 47: Výpočet ozubení v programu KISSsys 49
Obr. 48: Bezpečnosti kol otáčecího mechanismu 49
Obr. 49: Otáčecí mechanismus 50
Obr. 50: Výpočet řemene 50
Obr. 51: Zadání výpočtu řemene 52
Obr. 52: Síla na kladku 52
Obr. 53: Přenastavitelnost kladky 52
Obr. 54: Výpočtový model kladky 53
Obr. 55: Závislost zatížení na deformaci pružiny 53
Obr. 56: Směr tuhosti 54
Obr. 57: Posunutí ve směru x 55
Obr. 58: Ukázka výsledku modální analýzy 56
Obr. 59: Princip vyvažování [14] 58
Obr. 60: Porovnání užitných vlastností brusných kotoučů [14] 58
Obr. 61: Ukázka přírubových a vkládaných hlav s příslušenstvím [15] 59
Obr. 62: Schéma vyvažovací hlavy [15] 59
Obr. 63: Diagram pro definici vyvažovacího výkonu [15] 60
Obr. 64: Modely vyvažovací hlavy [15] 60
Obr. 65: Model zařízení – pohled 1 62
Obr. 66: Model zařízení – pohled 2 63
Obr. 67: Odkrytované zařízení 63

Seznam tabulek

Tab. 1: Maximální parametry FCW [3] 15
Tab. 2: Maximální parametry HCW 1-4 [3] 15
Tab. 3: Maximální parametry HCW 2000 – 4000 [3] 16
Tab. 4: Maximální parametry SR [3] 17
Tab. 5: Maximální parametry S-MT [3] 17
Tab. 6: Parametry pohonu frézovacího vřeteníku 17
Tab. 7: Varianty soustružnického vřeteníku [3] 18
Tab. 8: Vstupní požadavky na konstrukci brousicí hlavy 21
Tab. 9: Doporučené parametry broušení [6] 23
Tab. 10: Běžné poměry mezi posunutím a šířkou kotouče [6] 24
Tab. 11: Hodnoty měrné řezné síly [6] 24
Tab. 12: Hodnoty měrné řezné síly [6] 26
Tab. 13: Hodnocení variant konstrukce 31
Tab. 14: Teplotně stabilní otáčky ložisek 37
Tab. 15: Minimální hodnoty bezpečnosti 40
Tab. 16: Varianty otáčecího mechanismu [11] 42
Tab. 17: Varianty řešení napínací kladky 51
Tab. 18: Bezpečnost talířové pružiny 53
Tab. 19: Vlastní frekvence 57
Tab. 20: Tabulka technických parametrů 61

Použitý software

Siemens NX
KISSsys
KISSsoft
MITcalc
PTC Mathcad Prime 4.0

Seznam příloh

Výkres sestavy
Výrobní výkres pevného tělesa
Kusovník
Příloha č. 1: Zpráva výpočtu sestavy z programu KISSsys.
Příloha č. 2: Zpráva výpočtu hřídele 1 z programu KISSsoft.
Příloha č. 3: Zpráva výpočtu hřídele 2 z programu KISSsoft.
Příloha č. 4: Zpráva výpočtu hřídele 3 z programu KISSsoft.
Příloha č. 5: Zpráva výpočtu vřetene z programu KISSsoft.
Příloha č. 6: Zpráva výpočtu řemene z programu KISSsoft.

1. Úvod

1.1. Historie Škodových závodů v Plzni

Počátek dnešní strojírenské výroby v Plzni se váže k roku 1859, kdy hrabě Valdštejn založil v Plzni pobočku slévárny a strojírny. Významným milníkem byla koupě podniku tehdejším hlavním inženýrem Emilem Škodou v roce 1869. Pod jeho vedením dochází k výraznému rozšíření, závod se zaměřil zejména na těžké strojírenství. Po transformaci na akciovou společnost roku 1899 se stávají Škodovy závody největší zbrojovkou Rakouska-Uherska. Dodávaly armádě i námořnictvu munici a zejména těžká děla. V době před první světovou válkou byla Škoda už mnohooborovým závodem. Mezi jeho hlavní odvětví kromě zbraní patřila výroba zařízení pro cukrovary, pivovary, slévárenství a výroba částí lokomotiv. V roce 1911 zahájily Škodovy závody výrobu vlastních obráběcích strojů. První světová válka znamenala zesílení zbrojní výroby a výrazné zvýšení kapacit. V roce 1917 zaměstnával plzeňský závod přes 35 tisíc lidí. Po skončení války došlo k výrazné transformaci a k částečnému opuštění zbrojní výroby, vznikla například samostatná Škodovácká „Lokomotivka“. V roce 1920 se zahajuje výroba soustruhů pro opracování klikových hřídelí. Druhá světová válka znamenala začlenění do zbrojního programu Německa. Kvůli bombardování v roce 1945 došlo ke zničení až 70% areálu. Po konci války byl podnik zestátněn a postupně rozdělen na jednotlivé podniky. V Plzni zůstalo těžké strojírenství a výroba dopravních prostředků. Export začal směřovat téměř výhradně do zemí tehdejšího východního bloku. Významného úspěchu v oblasti obráběcích strojů dosáhla v roce 1958 horizontální vyvrtávačka ŠKODA WD 200, která získala na EXPO v Bruselu zlatou medaili. Tyto stroje byly vyráběny až do sedmdesátých let. Dalším milníkem je rok 1980, kde se staly běžnou součástí výroby CNC stroje. Jenom o tři roky později došlo k výraznému technickému pokroku zahájením výroby strojů s hydrostatickým vedením. V roce 1990 došlo k převedení podniku na akciovou společnost. Ke vzniku názvu Škoda Machine Tool došlo v roce 1993 založením společného podniku s německou firmou Dörries Scharmann. Plzeň se stala v rámci koncernu centrem v oblasti těžkých horizontek. Rok 1994 je významný z důvodu dokončení vývoje prvních dvouosých kontinuálně řízených hlav UFK 1600 pro pětiosé obrábění. Na přelomu tisíciletí byl zahájen vývoj horizontek typu HCW a FCW. Významným exportním partnerem se stala Čína, což dokladuje i vznik pobočky ŠKODA EASTERN v Shenyang. Nejnovějším úspěchem ŠMT je prodej největší horizontky v historii v roce 2016. Před nedávnem došlo ke změně názvu na ŠMT a.s. [1, 2]

1.2. Výrobní program ŠMT a.s.

ŠMT a.s. se historicky soustřeďuje na těžké obráběcí stroje. Hlavním cílem je umožnění složitého obrábění těžkých nebo velkých obrobků. Reaguje tím na poptávku firem s výrobou těžkých a tvarově složitých součástí, jako například rotorů turbín, bloky motorů, klikové hřídele atd. zejména v energetice, důlním a těžebním průmyslu případně dopravní technice. [3]

1.2.1. Horizontální vyvrtávačky

Horizontální vyvrtávačky (slangově horizontky) jsou velmi univerzální stroje. Je na nich možné provádět komplikované obráběcí operace. Hlavní řezný pohyb je otočný pohyb nástroje. Výhodou strojů je možný současný pohyb nástroje i obrobku. Podle koncepce se dělí na stolové a deskové.

Prvním vyráběným typem v portfoliu ŠMT a.s. jsou vyvrtávačky FCW. Jejich hlavní výhodou je široká možnost uplatnění. Je možné je využít i ve velmi prašném prostředí a to nejen pro obrábění ocelí ale i litin, plastických hmot nebo GFK. Jedná se o vysoce spolehlivé stroje s jednoduchou údržbou a poměrně nízkou cenou. Konstrukčně jsou zajímavé využitím valivého

vedení pro posuv stojanu po loži a vřeteníku po stojanu. Posun lože je realizován systémem Master-slave. [3]

Tab. 1: Maximální parametry FCW [3]

Maximální parametry FCW	
Výkon hlavního motoru	64/81 kW
Otáčky vřetena	3500 ot/min
Krouticí moment	3000 Nm
Průměr vřetena	180 mm

Obr. 1: Horizontální vyvrtávačka FCW 150 [3]

Pro zákazníky s nejvyššími požadavky jsou připraveny stroje řady HCW 1 - 4. Jedná se o horizontky umožňující dosažení jak vysokého momentu pro hrubovací operace, tak extrémně vysokých otáček v případě dokončovacích operací. Takto vysoký rozsah je umožněn díky třístupňové převodovce. Další konstrukční zajímavostí je široké použití hydrostatického vedení, což společně s mimořádnou stabilitou skříňových dílů umožňuje obrábění v mikronových přesnostech.

Tab. 2: Maximální parametry HCW 1-4 [3]

Maximální parametry HCW 1-4				
	HCW 1	HCW 2	HCW 3	HCW 4
Průměr vřetena (mm)	150/160	160/180/200	200/225/250/262	262/280/300
Výkon hlavního motoru (kW)	71	100	129	147
Otáčky vřetena (ot/min)	3000	2500	2000	1600
Výsuv pinoly v ose Z (mm)	1200	1300	1600	2000
Výsuv vřetena v ose W (mm)	1000	1200	1500	1800
Max. pojezd stojanu v ose Y (mm)	5000	7000	9000	10000

Pro případ složitého obrábění s nutností velkého výsuvu pinoly a vysokých rychlostí nástroje má ŠMT připraveny stroje řady HCW 2000 – 3000. Hlavní pohon vestavěný v pinole umožňuje dosáhnout vyššího výsuvu pinoly a tím zlepšit pracovní možnosti stroje. [3]

Tab. 3: Maximální parametry HCW 2000 – 4000 [3]

Maximální parametry HCW 2000 - 4000			
	HCW 2000	HCW 3000	HCW 4000
Průměr vřetena (mm)	160/180	180/200/225	225/250/262
Výkon hlavního motoru (kW)	64	103	120
Otáčky vřetena (ot/min)	3500	3000	2500
Výsuv pinoly v ose Z (mm)	1750	2000	2500
Výsuv vřetena v ose W (mm)	1250	1400	1500
Max. pojezd stojanu v ose Y (mm)	5000	7000	9000

Obr. 2: Horizontální vyvrtávačka HCW 3000 [3]

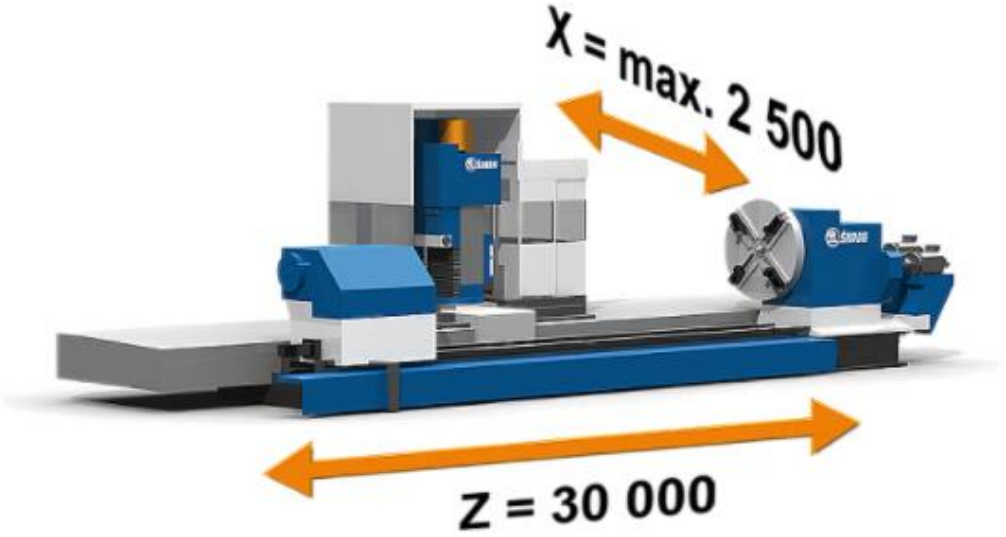
1.2.2. Univerzální horizontální soustruhy

Důležitou část sortimentu ŠMT a.s. tvoří univerzální horizontální soustruhy. Jedná se o NC stroje umožňující přesné opracování těžkých rotačních obrobků. V nabídce je také široká škála příslušenství, která umožňuje optimalizovat konfiguraci stroje tak, aby bylo možné realizovat i nejnáročnější zákazníkovy požadavky.

SR 1-5 jsou soustruhy umožňující obrobit až třicetimetrové obrobky. Jejich hlavní díly jsou z šedé litiny, což zajišťuje vysokou přesnost a stabilitu i při vysokých řezných silách. Modulární konstrukce umožňuje sestavit stoj zákazníkovi na míru.

Tab. 4: Maximální parametry SR [3]

Maximální parametry SR	
Průměr nad ložem (mm)	6000
Délka obrobku (mm)	30000
Hmotnost obrobku (t)	350
Výkon (kW)	355
Otáčky vřetena (ot/min)	700



Obr. 3: Soustruh typu SR [3]

Mezi univerzální hrotové soustruhy se svou koncepcí řadí také Multifunkční stroj typu S-MT. Tento stroj umožňuje jak soustružnické a frézovací operace, hluboké vrtání a případně využití aditivních technologií. Samozřejmostí je automatická výměna nástrojů a příslušenství. Zákazníkovi umožňuje realizovat obrábění složitých obrobků na jedno upnutí.

Tab. 5: Maximální parametry S-MT [3]

Maximální parametry S-MT	
Hmotnost obrobku (kg)	250000
Průměr obrobku (mm)	5000
Délka obrobku (mm)	15000

Frézovací vřeteník je dodáván ve dvou variantách. Jejich parametry je možné najít v následující tabulce.

Tab. 6: Parametry pohonu frézovacího vřeteníku

Parametry pohonu frézovacího vřeteníku		
	Varianta 1	Varianta 2
Maximální výkon	64 kW	80 kW
Maximální moment	4500 Nm	4500 Nm
Maximální otáčky	3500 ot/min	3000 ot/min

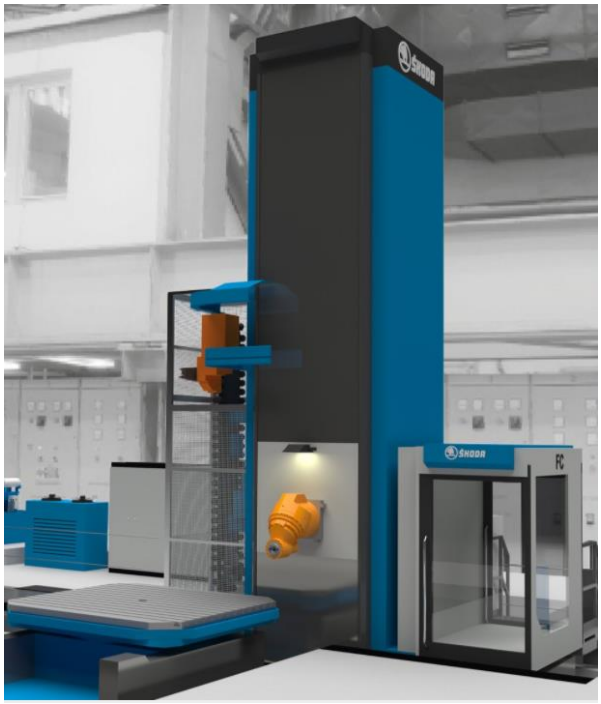
Provedení soustružnického vřeteníku je závislé na velikosti stroje a obrobku. ŠMT dodává celkem čtyři varianty. [3]

Tab. 7: Varianty soustružnického vřeteníku [3]

Parametr	Jednotky	S 150 MT	S 200 MT	S 320 MT	S 500 MT
Velikost vřeteníku	t	32	70	160	250
Max. otáčky	1/min	700	400	300	200
Max. výkon	kW	71	95	190	190
Max. moment	kNm	50-85	85-140	140-250	250
Počet převod. stupňů		2	2 nebo 3	3	3
Standartní rozměr upínací desky	mm	1000	1600	2000	3000
Standartní výška hrotů	mm	900	1100	2000	3000

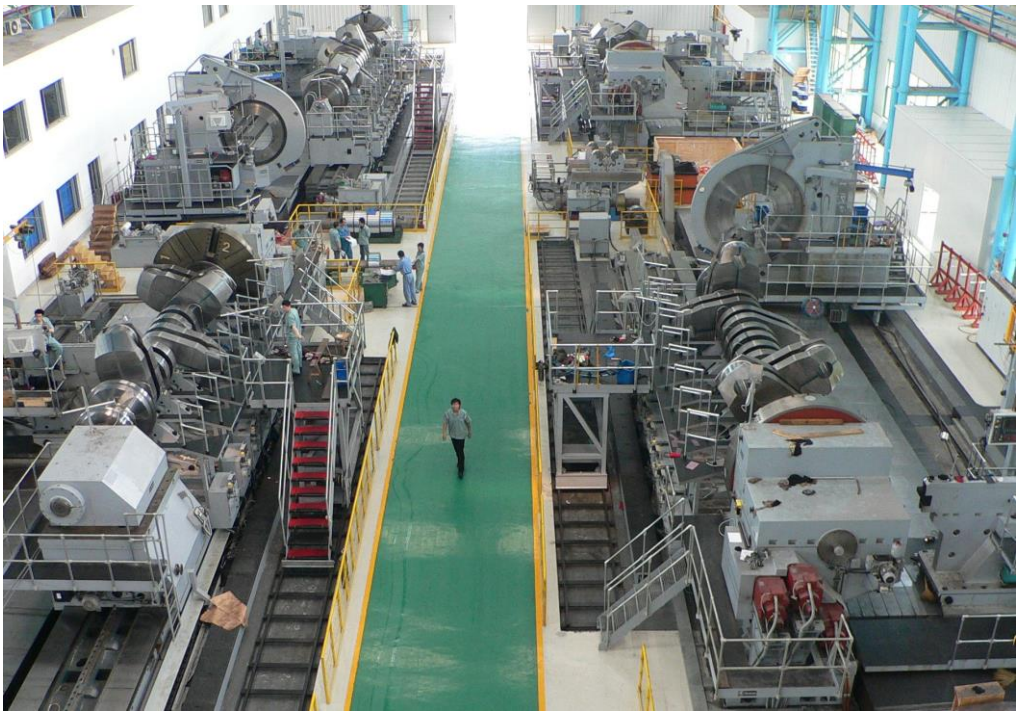
1.2.3. Další produkty

Dalším typem strojů je řada ŠKODA FC. Jedná se o frézovací stroj určení pro opracování středně velkých dílů. Typické pro konstrukci jsou předepnutá valivá ložiska na všech pohybových osách. Hlavní pohon je možné nalézt ve smykadle, pomocí něhož jsou nakláněny hlavy.



Obr. 4: Frézovací stroj typu FC [3]

ŠMT a.s. se také zabývá výrobou pracovišť pro speciální technologické operace nebo pro obrábění specifických obrobků. Jako příklad je možné vyzdvihnout stroj zaměřený na obrábění generátorů a turbínových rotorů nebo stroj pro obrábění velkých klikových hřídelí.



Obr. 5: Čtyři pracoviště soustruhového typu u zákazníka [3]

Další neopomenutelnou součástí sortimentu jsou portálová pracoviště. Konkrétně se jedná o provedení WP a GANTRY WPA. V případě stolového provedení WP je možné obrábět obrobky o váze až 250 tun. Výhodou dvousloupového uspořádání je vysoká tuhost rámu a přesnost celého stroje. Všechny osy stroje jsou plně hydrostatické. Oba stroje je možné osadit vřeteníky v provedení SPEED nebo HEAVY. První možnost se využívá pro vysoké pracovní otáčky, druhá pro vysoké momenty. Samozřejmou součástí pracoviště je i automatická výměna nástrojů. Možnosti obrábění se dají rozšířit umístěním některé ze speciálních hlav. [3]

Obr. 6: Portál v provedení GANTRY WPA [3]

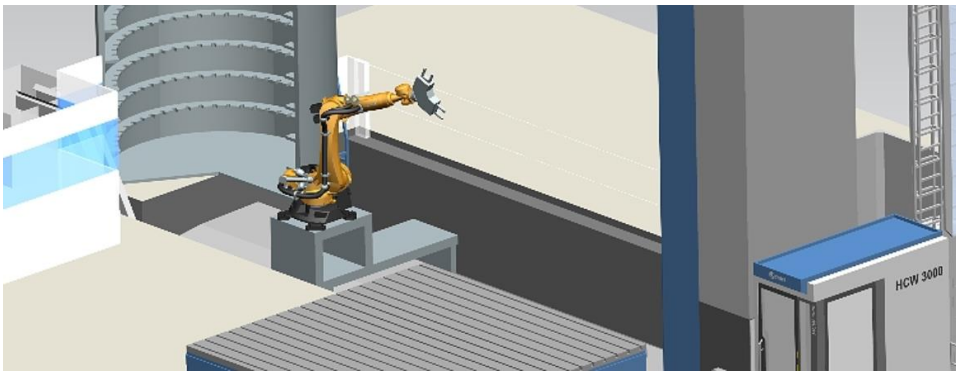
1.2.4. Příslušenství strojů

Mezi významný artikl ŠMT a.s. patří také různé obráběcí hlavy, pomocí nichž se významně rozšiřují možnosti obrábění. Tato zařízení se používají k umožnění víceosého obrábění, vyvrtávání hlubokých děr nebo obrábění v netypických úhlech. Hlavový sortiment má za úkol rozšířit i hlava BSMT1.

Obr. 7: Frézovací hlava [3]

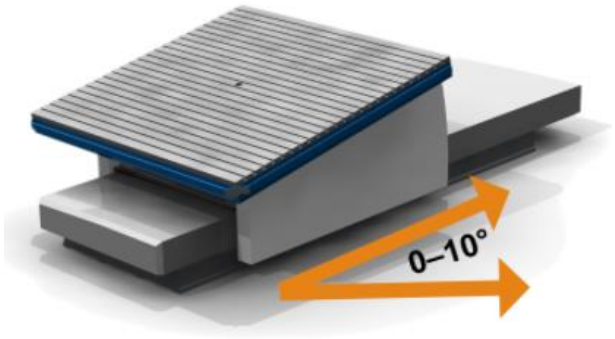
Obr. 8: Zařízení pro automatickou výměnu hlav [3]

Samozřejmostí moderních obráběcích strojů je automatická výměna nástrojů a hlav. ŠMT a.s. realizuje tento technický systém pomocí robotů. Ve stojích můžeme najít podávací roboty se stacionárním, nezávisle pohyblivým i pohyblivým, vázaným na stroj ramenem.



Obr. 9: Statický zásobník nástrojů, nezávisle pohyblivý robot [3]

Dalším zařízením prodávaným ŠMT a.s. jsou otočné, posouvací případně karuselovací hlavy. Tato zařízení rozšiřují možnosti obrábění. Jejich přesnosti dosahují mikronů a úhlových vteřin. [3]



Obr. 10: Naklápěcí stůl Škoda TDV TILT [3]

2. Vstupní požadavky na konstrukci brousicí hlavy BSMT1 pro multifunkční stroj S – MT

V následující tabulce jsou vypsány parametry, podle kterých bude navržena brousicí hlava. Varianty koncepce jsou popsány v kapitole 4.

Tab. 8: Vstupní požadavky na konstrukci brousicí hlavy

	Jednotky	Hodnota	Pozn.
Průměr brousicího kotouče	mm	900	
Šířka brousicího kotouče	mm	80	
Max. hloubka zápichu	mm	260	
Max. výkon	kW	50 - 80	
Max. moment	Nm	1000	
Max. otáčky kotouče	1/min	1000	
Natočení hlavy kolem svislé osy – natáčení	°	±20	Varianta koncepce
Automatické vyvažování kotouče			Zvláštní provedení
Max. průměr obrobku	mm	765	
Materiál obrobku	ČSN 12050(C45)		
Připojení brusky na stroj S – MT	Příruba smykadla		
Hlavní pohon brusky	Vřeteno stroje/samostatný pohon		Varianta koncepce

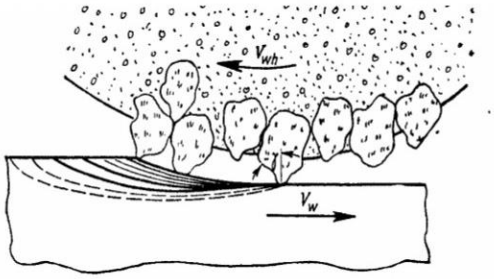
Životnost	hod	4000	
Chlazení brousicího kotouče	Emulze oleje 1-5% a vody		Přivedeno tryskami na kotouč
Maximální výkon frézovacího vřeteníku	kW	80	Pro variantu s vyšším výkonem
Maximální výkon frézovacího vřeteníku	kW	64	Pro variantu s nižším výkonem
Maximální moment	Nm	4500	
Maximální otáčky	ot/min	3000	Pro variantu s vyšším výkonem
Maximální otáčky	ot/min	3500	Pro variantu s nižším výkonem
Mazání ozubení a ložisek		tuk	
Střední teplota ložisek	°C	60	

3. Broušení

Broušení je jednou z nejstarších metod opracování materiálu. Nejstaršími brousicími materiály byly například pískovec, smirek, křemen nebo břidlice. Původně byly využívány na ostření nástrojů. Tuto funkci si uchovaly až do konce 19. století, kdy se jejich role výrazně změnila díky bouřlivému rozvoji obráběcích technologií. Násobně vyšší požadavky na přesnost, požadovaná vzájemná vyměnitelnost a objev nových brusných materiálů způsobilo změnu principu technologie broušení na princip používaný dodnes. [4]

3.1. Popis technologie broušení

Broušení je technologie, při níž dochází k hromadnému oddělování malých částí povrchových vrstev obrobků pomocí zrn brusiva. Hlavní řezný pohyb je většinou rotační pohyb nástroje, který se nazývá brusný kotouč. Jedná se o dokončovací operaci. Broušením se dá dosáhnout na drsnost povrchu až 0,025 μm. Je možné brousit plochy rovinné, rotační, kuželové, šroubové, tvarové s vysokou rozměrovou a tvarovou přesností a malou drsností povrchu. Obrábět lze tvrdé, kalené a cementované součásti, slinuté karbidy a další jiné tvrdé kovové a nekovové materiály. Broušením lze obnovovat řezné plochy nástrojů, tento proces se nazývá ostření. [4]



Obr. 11: Princip broušení [8]

Hlavními funkcemi broušení v současnosti jsou:

a) Opracování součástí na přesný geometrický tvar a rozměry, s vysokou jakostí povrchové vrstvy.
b) Opracování součástí a materiálů, pro něž je jiný způsob obrábění obtížný nebo nemožný.
c) Opracování součástí a materiálů, pro něž je broušení nejhospodárnější.

V případě broušení platí stejné zákonitosti jako v případě jiných obráběcích metod. Jedná se ovšem o obrábění velmi velkými řeznými rychlostmi (obvykle 30 až 100 m/s). Je třeba také brát v úvahu velmi malé třísky (řádově $10^{-3}mm^2$) a další zvláštnosti tvaru broušení:

- Různotvárnost geometrické formy zrn brusiva a neurčitost jejich vzájemné polohy, které mají za následek nepravidelný úběr třísky.
- Nestejné, většinou záporné úhly čela zrn brusiva, které silně ovlivňují charakter obráběcích procesů.
- Poměrně slabé uchycení zrna ve vazbě brousicího kotouče. Tato charakteristika významně omezuje maximální řeznou sílu.
- Samoostření, neboli samovolné uvolňování zrn brusiva při broušení. [5]

3.2. Závislost vlastností stroje na charakteristice broušení

Díky neurčitosti geometrie brousicího nástroje a poměrně vysokému rozpětí využití brousicích operací jsou většinou brusky dimenzovány podle zkušeností konstruktéra. Následující odstavce vysvětlují výpočet firmy Dynomax, podle kterého je možné se následně orientovat při dimenzování pohonu brusky. Vstupní hodnoty byly zjištěny experimentálně.

Prvním krokem je vyjasnění vlastností použitého brousicího kotouče. V následující tabulce je možné vidět typické doporučené parametry. Obvyklá hloubka řezu při hrubování je 0,025 mm. [6]

Tab. 9: Doporučené parametry broušení [6]

Recommended grinding parameter	SI- Metric Units	Inch Units
Wheel speed	1200 to 1800 m/min	4000 to 6000 fpm
Work speed	20 to 40 m/min	70 to 140 fpm
Depth of cut for roughing grinding	0.01 to 0.025 mm	0.0004 to 0.001 inch
Depth of cut for finish grinding	around 0.005 mm	around 0.0002 inch
Grit sizes for roughing grinding for easy-to-grind materials	46 to 60	
Grit sizes for roughing grinding for difficult-to-grind materials	> 80	
Internal griding grit sizes for small holes	100 to 320	
Specific metal removal rate – **SMRR** *	200 to 500 mm^3/mm width/min	0.3 to 0.75 in^3/inch width/min

Řezná rychlost kotouče:

$$v_K = 1800\frac{m}{min} = 30\frac{m}{s}$$

Obvodová rychlost obrobku:

$$v_O = 40\frac{m}{min} = 0{,}667\frac{m}{s}$$

Hloubka řezu:

$$a_r = 0{,}025\ mm$$

Podle přiložené tabulky byla zvolena velikost konstant C_p a C_z, které udávají poměr mezi šířkou kotouče a šířkou záběru.

Tab. 10: Běžné poměry mezi posunutím a šířkou kotouče [6]

Work Material	Roughing, C	Finishing, C
Steel	2/3 – 3/4	1/3 – 3/8
Stainless Steel	1/2	1/4
Cast Iron	3/4	3/8
Hardened Steel	1/2	1/4

Podélné broušení:

$$C_p = 0{,}66$$

Finišování:

$$C_Z = 1$$

V případě brusky BSM1 je použit brousicí kotouč s průměrem 900 mm a šířkou 80 mm.

$$D_K = 900\ mm \qquad B = 80\ mm$$

Z charakteristiky kotouče jsem vypočítal předpokládanou šířku záběru v podélném směru a při zapichování.

Šířka záběru v podélném směru:

$$f_{sp} = C_p * B = 0{,}66 * 0{,}08 = 0{,}053\ m$$

Šířka záběru při zapichování:

$$f_{sz} = C_Z * B = 1 * 0{,}08 = 0{,}08\ m$$

Šířka záběru:

$$f_s = [f_{sp}\ \ f_{sz}\ ]$$

Maximální průměr obrobku je dle zadání firmy ŠMT a.s.

$$d_0 = 765\ mm$$

Hodnota měrné řezné síly byla převzata z následující tabulky. Po domluvě se zadavatelem bylo určeno, že bruska bude dimenzována na netvrzenou ocel.

Tab. 11: Hodnoty měrné řezné síly [6]

Material	K_C [N/mm^2]	K_C [psi]
unhardened steel	50,000 to 70,000 N/mm^2	7,250,000 to 10,150,000
hardened steel	150,000 to 200,000 N/mm^2	21,750,000 to 29,000,000

Hodnota měrné řezné síly pro netvrzenou ocel:

$$K_C = 70000\ MPa$$

Pomocí této hodnoty byly zjištěny hodnoty řezné síly při broušení v podélném směru a při zapichování.

Tečná složka řezné síly:

$$F = K_C * a_r * f_s * \frac{v_0}{v_K} = [2{,}053 * 10^3 \quad 3{,}111 * 10^3]N$$

$$F = F^T$$

$$i = 0..1$$

Součinitel radiální složky řezné síly:

$$f_R = \begin{bmatrix} 2 \\ 4 \end{bmatrix}$$

Radiální složka řezné síly (podélně, zápich):

$$F_{R_i} = f_{R_i} * F_i = \begin{bmatrix} 4{,}107 * 10^3 \\ 1{,}244 * 10^4 \end{bmatrix} N$$

Výkon brousicího vřetene vypočteme pronásobením tečné složky řezné síly s řeznou rychlostí kotouče.

Výkon brousicího vřetene:

$$P_K = F * v_K = \begin{bmatrix} 61{,}6 \\ \mathbf{93,333} \end{bmatrix} kW$$

Obdobně se postupuje při výpočtu výkonu vřetene obrobku.

Výkon vřetene obrobku:

$$P_0 = F * v_0 = \begin{bmatrix} 1{,}369 * 10^3 \\ 2{,}074 * 10^3 \end{bmatrix} W$$

Výkon brousicího vřetene je větší než maximální možný výkon frézovacího vřetene stroje. V tomto případě bude nutné zmenšit hloubku řezu na 0,019 mm.

Hloubka řezu:

$$a_r = 0{,}019\ mm$$

Podle tabulky 10 byly zvoleny obvyklé konstanty C, které udávají poměr mezi šířkou kotouče a šířkou záběru.

Podélné broušení:

$$C_p = 0{,}66$$

Finišování:

$$C_Z = 1$$

V případě brusky BSM1 je použit brousicí kotouč s průměrem 900 mm a šířkou 80 mm.

$$D_K = 900\ mm \qquad B = 80\ mm$$

Z charakteristiky kotouče jsem vypočítal předpokládanou šířku záběru v podélném směru a při zapichování.

Šířka záběru v podélném směru:

$$f_{sp} = C_p * B = 0{,}66 * 0{,}08 = 0{,}053\ m$$

Šířka záběru při zapichování:

$$f_{sz} = C_Z * B = 1 * 0{,}08 = 0{,}08\ m$$

Šířka záběru:

$$f_s = [f_{sp} \;\; f_{sz}]$$

Maximální průměr obrobku je dle zadání firmy ŠMT a.s.

$$d_0 = 765\ mm$$

Hodnota měrné řezné síly byla převzata z následující tabulky. Po domluvě se zadavatelem bylo určeno, že bruska bude dimenzována na netvrzenou ocel.

Tab. 12: Hodnoty měrné řezné síly [6]

Material	K_C [N/mm²]	K_C [psi]
unhardened steel	50,000 to 70,000 N/mm²	7,250,000 to 10,150,000
hardened steel	150,000 to 200,000 N/mm²	21,750,000 to 29,000,000

Hodnota měrné řezné síly pro netvrzenou ocel:

$$K_C = 70000\ MPa$$

Pomocí této hodnoty zjistím hodnoty řezné síly při broušení v podélném směru a při zapichování.

Tečná složka řezné síly:

$$F = K_C * a_r * f_s * \frac{v_0}{v_K} = [1{,}561 * 10^3 \quad 2{,}364 * 10^3]N$$

$$F = F^T$$

$$i = 0..1$$

Součinitel radiální složky řezné síly:

$$f_R = \begin{bmatrix} 2 \\ 4 \end{bmatrix}$$

Radiální složka řezné síly (podélně, zápich):

$$F_{R_i} = f_{R_i} * F_i = \begin{bmatrix} 3{,}121 * 10^3 \\ 9{,}458 * 10^4 \end{bmatrix} N$$

Výkon brousicího vřetene vypočteme pronásobením tečné složky řezné síly s řeznou rychlostí kotouče.

Výkon brousicího vřetene:

$$P_K = F * v_K = \begin{bmatrix} 46{,}816 \\ 70{,}933 \end{bmatrix} kW$$

Obdobně se postupuje při výpočtu výkonu vřetene obrobku.

Výkon vřetene obrobku:

$$P_0 = F * v_0 = \begin{bmatrix} 1{,}04 * 10^3 \\ 1.576 * 10^3 \end{bmatrix} W$$

Poté následovalo zjištění potřebného maximálního momentu a momentu při jmenovitých otáčkách.

Jmenovité otáčky kotouče:

$$n_K = \frac{v_K}{\pi * D_K} = 636{,}62\ \frac{1}{min}$$

Minimální průměr kotouče:

$$D_{Kmin} = \frac{2}{3} * D_K = 0.6\ m$$

Maximální otáčky kotouče – při D_{Kmin}

$$n_{KM} = \frac{v_K}{\pi * D_{Kmin}} = 954{,}93\ \frac{1}{min}$$

Jmenovitý moment:

$$M_L = \frac{P_K}{2 * \pi * n_K} = \begin{bmatrix} 702.24 \\ 1{,}064 * 10^3 \end{bmatrix} Nm$$

Moment při maximálních otáčkách kotouče:

$$M_{LnKM} = \frac{P_K}{2 * \pi * n_{KM}} = \begin{bmatrix} 468{,}16 \\ 709{,}333 \end{bmatrix} Nm$$

Výsledkem celého výpočtu jsou následující matice, obsahující hodnoty momentu, otáček a výkonů při různých operacích.

$$M = \begin{bmatrix} M_{L0} \\ M_{L1} \\ M_{LnKM0} \\ M_{LnKM1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 702{,}24 \\ 1{,}064 * 10^3 \\ 468{,}16 \\ 709{,}333 \end{bmatrix} Nm \qquad n = \begin{bmatrix} n_K \\ n_K \\ n_{KM} \\ n_{KM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 636.62 \\ 636.62 \\ 954.93 \\ 954.93 \end{bmatrix} \frac{1}{min}$$

$$P_i = M_i * 2 * \pi * n_i = \begin{bmatrix} 4{,}682 * 10^4 \\ 7{,}093 * 10^4 \\ 4{,}682 * 10^4 \\ 7{,}093 * 10^4 \end{bmatrix} W \qquad \text{i=0…3}$$

Podle výpočtu bude potřebný výkon 50 až 75 kW. Dalšími důležitými parametry pro další výpočet jsou hodnota jmenovitého momentu při stavu jedna (702,24 Nm) a jmenovité otáčky kotouče (636,62 za minutu).

Dále byly získány hodnoty pro tečnou a radiální sílu při různých operacích.

$$F = \begin{bmatrix} F_0 \\ F_1 \\ F_0 \\ F_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1{,}561 * 10^3 \\ 2{,}364 * 10^3 \\ 1{,}561 * 10^3 \\ 2{,}364 * 10^3 \end{bmatrix} N$$

$$F_R = \begin{bmatrix} F_{R0} \\ F_{R1} \\ F_{R0} \\ F_{R1} \end{bmatrix} * (-1) = \begin{bmatrix} -3{,}121 * 10^3 \\ -9{,}458 * 10^3 \\ -3{,}121 * 10^3 \\ -9{,}458 * 10^3 \end{bmatrix} N \begin{matrix} podélné\ broušení \\ zapichování \\ podelné\ broušení \\ zapichování \end{matrix}$$

Průměr kotouče:

$$D_K = \begin{bmatrix} D_K \\ D_{Kmin} \\ D_K \\ D_{Kmin} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.9 \\ 0.6 \\ 0.9 \\ 0.6 \end{bmatrix} m$$

Předpokládáme, že rozložení síly v brusném kotouči bude rovnoměrné, proto lze její průvodič zasadit do poloviny kotouče.

Souřadnice průvodiče řezné síly:

$$x = \frac{D_K}{2} = \begin{bmatrix} 450 \\ 300 \\ 450 \\ 300 \end{bmatrix} mm \qquad y = \begin{bmatrix} 30 \\ 30 \\ 30 \\ 30 \end{bmatrix} mm \qquad z = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} mm$$

3.3. Zatěžovací stavy

Z hodnot momentů, otáček a výkonů vypočteme poměrnou dobu běhu a poměrné otáčky a momenty. Předpokládaná doba běhu je 4000 hodin.

$$T_c = 4000\ h$$

Poměrná doba běhu:

$$q = \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.2 \\ 0.3 \\ 0.2 \end{bmatrix}$$

Poměrný moment:

$$q_m = \frac{M}{M_0} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1{,}515 \\ 0{,}667 \\ 1{,}01 \end{bmatrix}$$

Poměrné otáčky:

$$q_n = \frac{n}{n_0} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1.5 \\ 1.5 \end{bmatrix}$$

4. Varianty koncepce brousicí hlavy

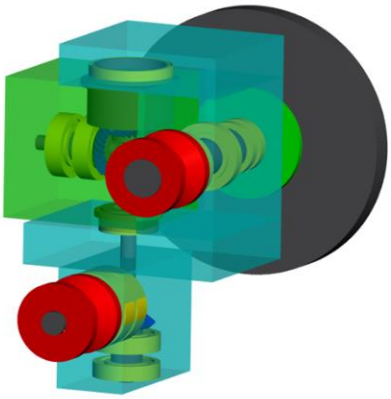
4.1. Popis variant

U všech variant je použit finální převod klínovým řemenem. Tato koncepce znemožňuje přenos vibrací z převodového mechanismu na brousicí kotouč.

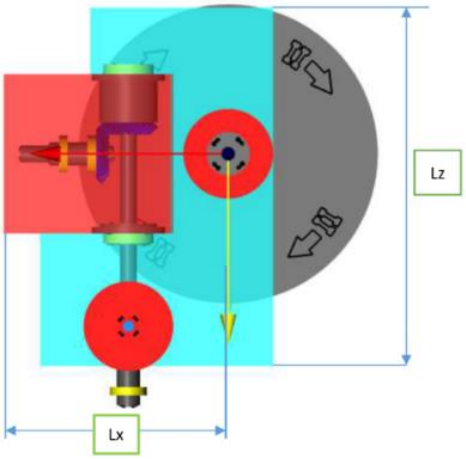
4.1.1. Otočná bruska s pohonem kotouče vřetenem stroje s kladkou dole

Varianta jedna má konstrukci tvořenou dvěma kuželovými koly a řemenem. Varianta umožňuje naklápění brusného kotouče v požadovaném rozsahu. Hnací řemenice se nachází pod úrovní

vřetene. Kotouč je uložen ve vzdálenosti Lx přibližně 650 mm. Výška tělesa převodu se bude pohybovat okolo 1100 mm.



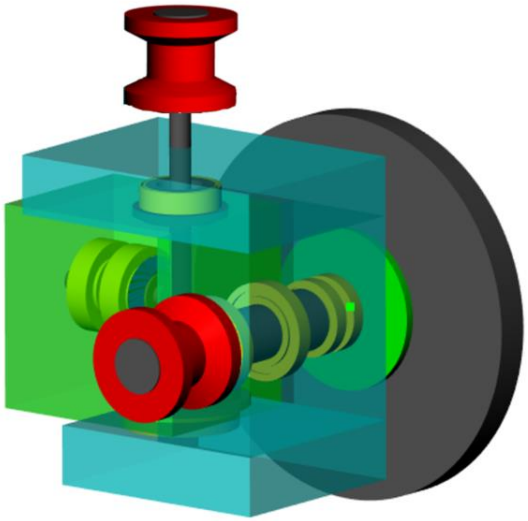
Obr. 12: Koncepce varianty 1



Obr. 13: Parametry varianty 1

4.1.2. Otočná bruska s pohonem kotouče vřetenem stroje a polozkříženým opásáním

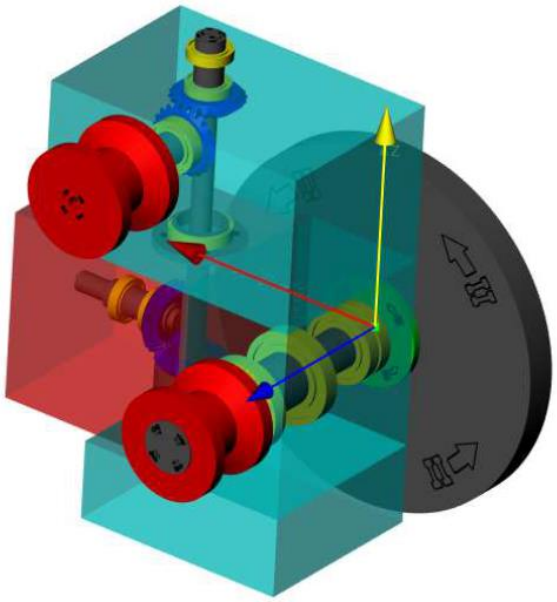
V případě druhé varianty je převod jednodušší. Realizován je pomocí jednoho páru kuželových kol a polozkříženým klínovým řemenem. Výška zařízení v tomto případě bude dosahovat přibližně 1000 mm. Druhý pár ozubených kol nebude zapotřebí. Problémem této varianty je komplikované napínání a krytí řemene.



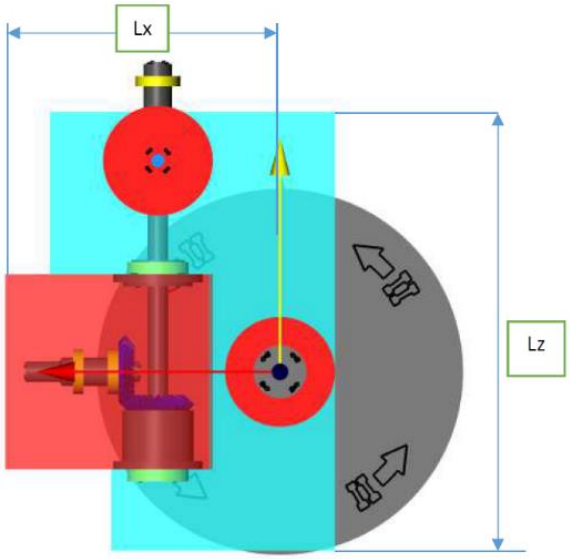
Obr. 14: Koncepce varianty 2

4.1.3. Otočná bruska s pohonem kotouče vřetenem stroje s kladkou nahoře

U třetí varianty je převod realizován dvěma kuželovými koly a řemenem. Vyložení kotouče Lx je okolo 650 mm. Nevýhodou brusky je poměrně rozměrné těleso převodu. Plánovaná výška Lz se bude pohybovat okolo 1100 mm.



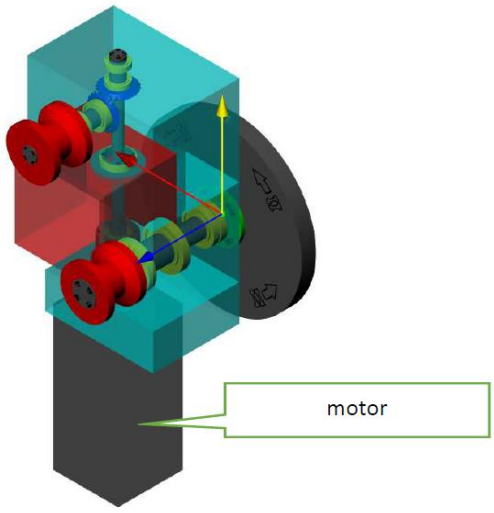
Obr. 15: Koncepce varianty 3



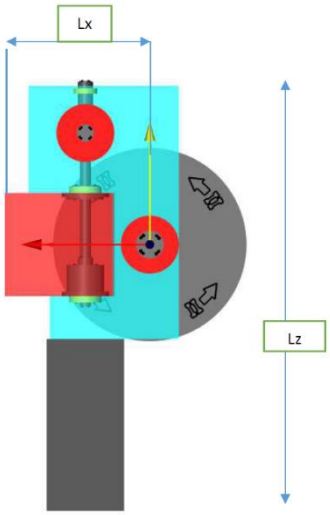
Obr. 16: Rozměry varianty 3

4.1.4. Otočná bruska s pohonem samostatným motorem

Varianta číslo čtyři obsahuje přívěsný dodatečný motor. Konstrukce převodu je realizována pomocí dvou párů kuželových kol a klínovým řemenem. Koncepce je konstrukčně velice komplikovaná. Motor znemožňuje automatickou výměnu zařízení. Problémové by bylo také jeho napájení. K hlavě je přiveden proud pouze 12A, což je pro motor nedostačující. V případě, že by byl motor situován nahoru, nebyla by AV tolik limitována, ovšem stále by došlo k zabrání velkého prostoru v pickupu nebo na paletě. Odhadovaná výška Lz se pohybuje okolo 2000 mm, vyložení se bude pohybovat okolo 650 mm.



Obr. 17: Koncepce varianty 4



Obr. 18: Parametry varianty 4

4.2. Hodnocení variant

V tabulce číslo sedm jsou ohodnoceny varianty na šále od 0 do 3. Nula vyjadřuje zcela nevyhovující řešení, číslo tři nejvyšší kvalitu dané vlastnosti.

Tab. 13: Hodnocení variant konstrukce

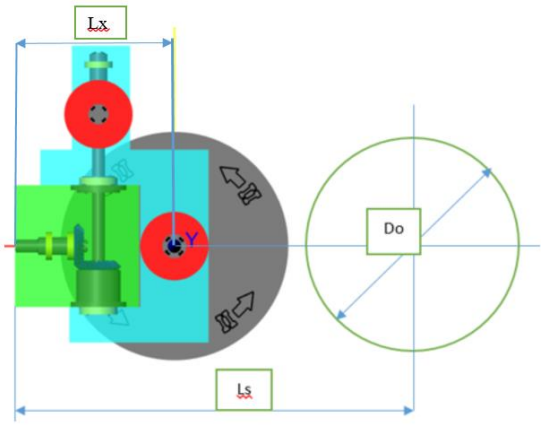
Vlastnost	Číslo varianty				Poznámka
	1	2	3	4	
Číslo obrázku	12	14	15	17	
Vyložení brusného kotouče (Lx)	3	3	3	3	Určuje maximální průměr broušení a zatížení uchycení.
Rozměr tělesa (Lz)	2	3	2	0	Má zásadní vliv na hmotnost celého zařízení, která přímo ovlivňuje vlastnosti celého obráběcího stroje. (přesnost, dynamickou poddajnost) a náklady (materiál, výroba)
Konstrukce převodů a přívodů energie	2	1	3	2	Hodnocena je složitost konstrukce a ovlivnění funkčních vlastností celého obráběcího zařízení.
Natáčecí mechanismus	2	3	3	3	Natáčení brusky v rozsahu ±20° zvyšuje možnosti obrábění. Zároveň se jedná o požadavek od zákazníka.
Celkový počet bodů:	9	10	**11**	8	

Z hodnocení vyplynulo, že všechny varianty splňují požadavky zákazníka. Hlavní nevýhodou varianty číslo jedna je zabrání prostoru pod hlavou, ve kterém by mohlo dojít ke kolizi. Druhá varianta je nejjednodušší, ovšem polozkřížený řemen by přinášel provozní i konstrukční problémy s jeho napínáním. Dále by také ztěžoval konstrukci otočného tělesa. Varianta číslo čtyři je také nevhodnou kvůli komplikovanosti konstrukce a příliš velikému rozměru hlavy. Tyto nedostatky by výrazně zhoršily vlastnosti obráběcího stroje. Suboptimální konstrukční variantou je tedy možnost číslo tři. Její slabou stránkou je především celkový rozměr tělesa.

5. Konstrukční návrh brousicí hlavy BSMT1

5.1. Uspořádání na pracovišti

Schéma uspořádání na pracovišti je možné vidět na následujícím obrázku. Maximální průměr broušení D_0 je 900 mm, minimální poté 600 mm. Maximální možná vzdálenost mezi čelem smykadla a osou stroje je 2200 mm.



Obr. 19: Uspořádání na pracovišti

5.2. Výpočtový model KISSsys/KISSsoft

5.2.1. Vstupní hodnoty

Pro návrh převodového mechanismu byl využit program KISSsys/KISSsoft. V programu bruska_bsmt1_e.ks jsou zadány následující vstupní parametry.

Poměrná doba běhu – Frequency:

$$q = \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.2 \\ 0.3 \\ 0.2 \end{bmatrix}$$

Poměrný moment - Torque:

$$q_m = \frac{M}{M_0} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1{,}515 \\ 0{,}667 \\ 1{,}01 \end{bmatrix}$$

Poměrné otáčky - Speed:

$$q_n = \frac{n}{n_0} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1.5 \\ 1.5 \end{bmatrix}$$

Tečná síla

$$F = \begin{bmatrix} F_0 \\ F_1 \\ F_0 \\ F_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1{,}561 * 10^3 \\ 2{,}364 * 10^3 \\ 1{,}561 * 10^3 \\ 2{,}364 * 10^3 \end{bmatrix} N$$

Radiální síla:

$$F_R = \begin{bmatrix} F_{R0} \\ F_{R1} \\ F_{R0} \\ F_{R1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3{,}121 * 10^3 \\ 9{,}458 * 10^3 \\ 3{,}121 * 10^3 \\ 9{,}458 * 10^3 \end{bmatrix} N \begin{matrix} podélné\ broušení \\ zapichování \\ podelné\ broušení \\ zapichování \end{matrix}$$

Souřadnice průvodiče řezné síly:

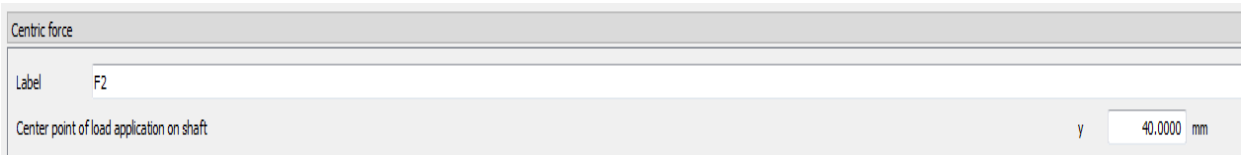
$$x = \frac{D_K}{2} = \begin{bmatrix} 450 \\ 300 \\ 450 \\ 300 \end{bmatrix} mm \qquad y = \begin{bmatrix} 30 \\ 30 \\ 30 \\ 30 \end{bmatrix} mm \qquad z = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} mm$$

Vzhledem k orientaci soustavy souřadnic v KISSsys je F_R kladná hodnota a x záporná.

Tyto hodnoty byly zadány do tabulky Load Spectrum.

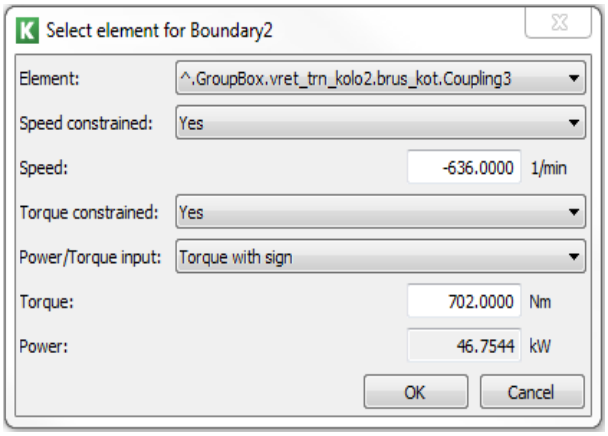
	Frequency	Torque	Speed	F	FR	x
1	0.3	1	1	1561	3121	-450
2	0.2	1.5	1	2364	9458	-300
3	0.3	0.66	1.5	1561	3121	-450
4	0.2	1	1.5	2364	9458	-300

Obr. 20: Load Spectrum



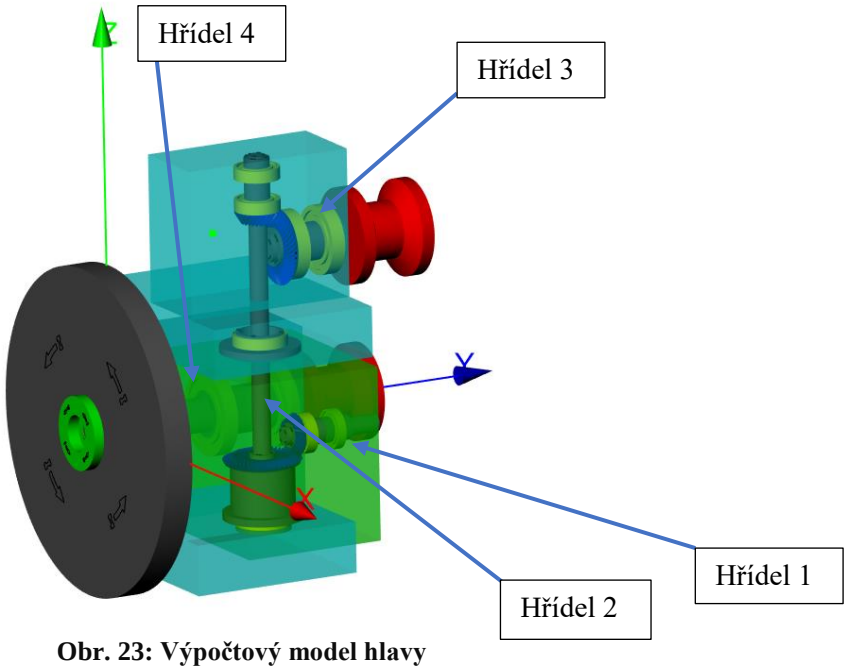
Obr. 21: Zadání síly na kotouč

Hodnoty byly zadány na okrajovou podmínku Boundary 2



Obr. 22: Zadání okrajové podmínky

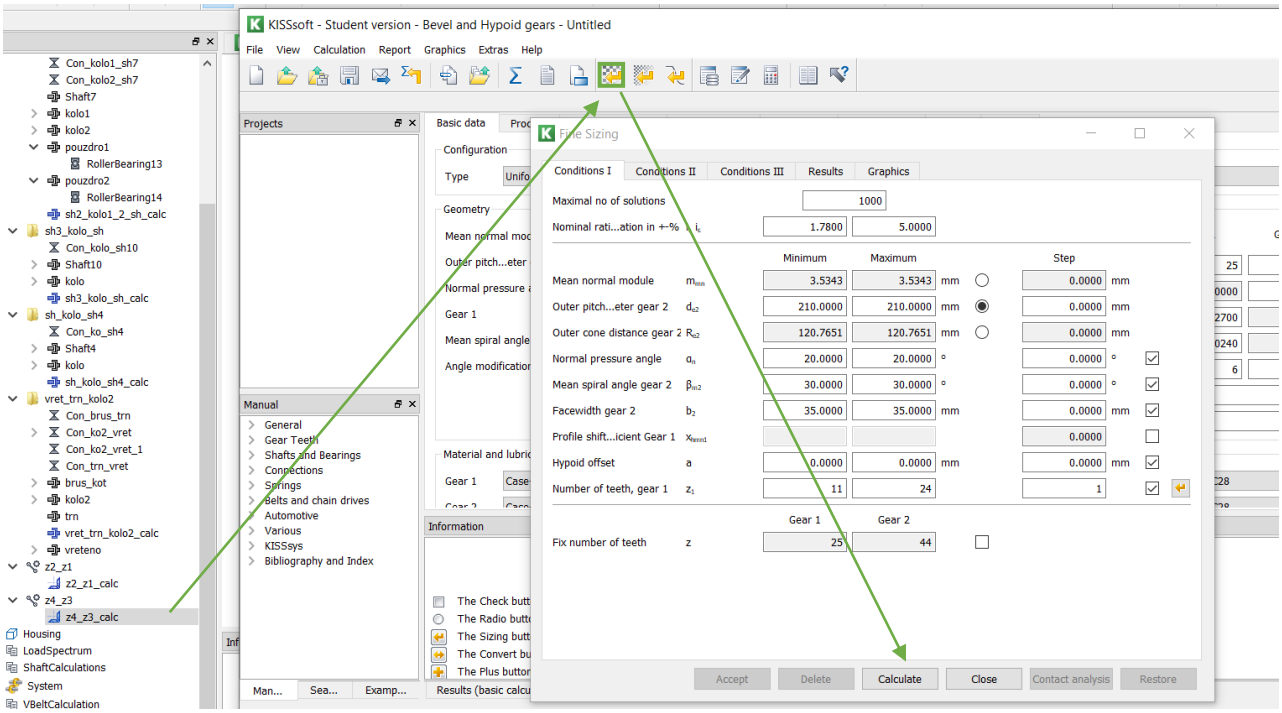
Výpočtový model je tvořen strukturou pohonu (hřídele, ložiska, spojení, vstupní a výstupní spojky, převody ozubené a řemenové včetně rozměrů, hmotností a materiálu). Dále je zadáno mazání ložisek a ozubení, provozní teplota. Vstupní a výstupní parametry jsou zadány pro referenční zatížení (moment, otáčky, výkon) v tabulkách Boundary 1 a 2. V programu jsou také zahrnuta místa pro zadání centrických a excentrických sil. Částí výpočtu je také spektrum zatížení (Load Spectrum). Dále jsou také zaneseny hrubé rozměry zařízení.



Obr. 23: Výpočtový model hlavy

5.2.2. Počáteční kontrola navržených součástí pohonu a jejich úpravy

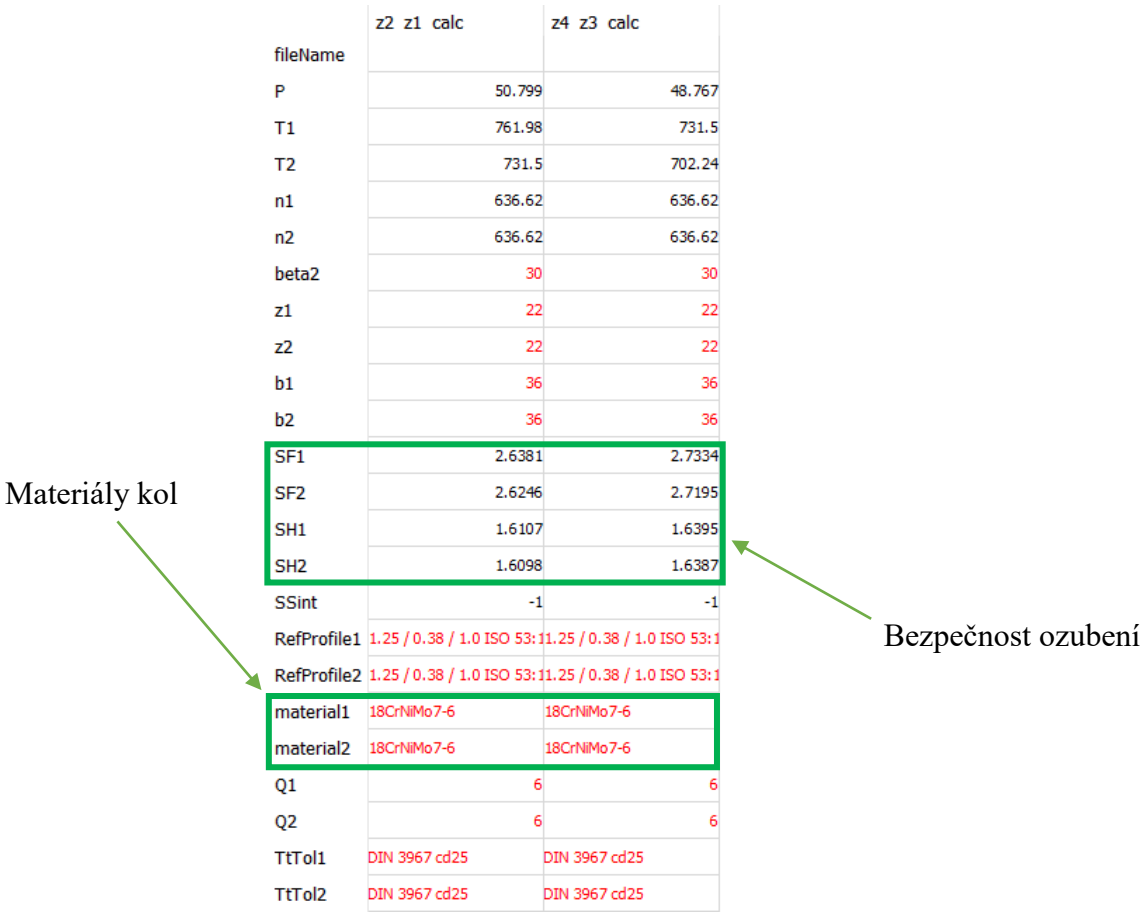
V následujících odstavcích bude rozebrán postup při výpočtu parametrů ozubených kol, řemenového převodu, ložisek, hřídelí a hřídelových spojení.
Ozubená kola byla navržena v podprogramu Kisssoft pomocí funkce Fine sizing pro zatěžovací stav 1.



Obr. 24: Výpočet kol

Po zadání všech parametrů byl v prostředí Kisssys spuštěn výpočet.

Jako první jsou kontrolována ozubení při zatěžovacím stavu 1.



fileName	z2 z1 calc	z4 z3 calc
P	50.799	48.767
T1	761.98	731.5
T2	731.5	702.24
n1	636.62	636.62
n2	636.62	636.62
beta2	30	30
z1	22	22
z2	22	22
b1	36	36
b2	36	36
SF1	2.6381	2.7334
SF2	2.6246	2.7195
SH1	1.6107	1.6395
SH2	1.6098	1.6387
SSint	-1	-1
RefProfile1	1.25 / 0.38 / 1.0 ISO 53:1	1.25 / 0.38 / 1.0 ISO 53:1
RefProfile2	1.25 / 0.38 / 1.0 ISO 53:1	1.25 / 0.38 / 1.0 ISO 53:1
material1	18CrNiMo7-6	18CrNiMo7-6
material2	18CrNiMo7-6	18CrNiMo7-6
Q1	6	6
Q2	6	6
TtTol1	DIN 3967 cd25	DIN 3967 cd25
TtTol2	DIN 3967 cd25	DIN 3967 cd25

Obr. 25: Kontrola ozubení

Ekvivalentním materiálem dle ČSN normy pro 18CrNiMo7-6 je ČSN EN 16326.

Získané bezpečnosti ozubení vyhovují požadovaným bezpečnostem.

Service life, damage

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

Obr. 26: Dovolené bezpečnosti ozubení

Po kontrole ozubení je možné se přesunout ke kontrole ložisek. Požadovaná životnost dle zadání je 4000 hodin. Dalším důležitým parametrem je statická bezpečnost fs. Její minimální hodnota se pohybuje mezi 1 a 2. Počáteční kontrola ložisek se provádí pro zatěžovací stav 1.

	RollerBearing7	RollerBearing8	RollerBearing10	RollerBearing9	RollerBearing13	RollerBearing14	RollerBearing11	RollerBearing12
shaft1								
BForm	Taper roller bearing (	Taper roller bearing (	Taper roller bearing (	Taper roller bearing (	Needle roller bearing	Needle roller bearing	Taper roller bearing (single	Taper roller bearing (single
BType	SKF 32220	SKF 32220	SKF 32218	SKF 32218	SKF RNA 4826	SKF RNA 4826	SKF 32220	SKF 32220
d	100	100	90	90	145	145	100	100
D	180	180	160	160	165	165	180	180
b	49	49	42.5	42.5	35	35	49	49
Fx	-8920.5	1957.5	11284.46301	-1360.5	2.3529e-14	-2.3055e-18	9924	-2537.8
Fv	5064.8	-6412.9	-8608.6	1457.9	-177.09	-74.878	5489	-6651
Fz	12140.73483	-2128.1	5470.4	-4314.7	5.2449e-14		-13074	2478
Tx	-253.27	-49.353	105.74	79.814	-2.0449e-13		273.91	57.803
Tv	0.76792	0.25661	0.56648	0.26586	0.11017	0.11017	0.82457	0.28414
Tz	-186.15	-44.309	-207.65	-25.296	9.3141e-14	3.5924e-18	207.97	57.324
Lh	3308494.536	17532004.69	1643327.674	61197538.26	1000000	1000000	2457029.872	15008551.82
S0	29.206	66.91	25.841	75.153	9999.99	9999.99	26.806	62.022
deltaX	0	0	0	0	0	0	0	0
deltaY	0	0	0	0	0	0	0	0
deltaZ	0	0			0	0	0	0
deltaRX	0	0			0	0	0	0
deltaRZ	0	0	0	0	0	0	0	0

Rozměry ložisek

Hledané parametry

Obr. 27: Bezpečnost ložisek – část 1

RollerBearing5	RollerBearing6	RollerBearing15	RollerBearing16	RollerBearing3 vreteno	RollerBearing8 vreteno
Taper roller bearing (single	Taper roller bearing (single	Angular contact ball bearir	Angular contact ball bearir	Angular contact ball bearir	Angular contact ball bearir
SKF 30320	SKF 30320	SKF 7226 BGAF	SKF 7226 BGAM	SKF 7224 ACD/HCP4A	SKF 7224 ACD/HCP4A
100	100	130	130	120	120
215	215	230	230	215	215
51.5	51.5	40	40	40	40
-7747.7	-5876.7	-502.46	3768.3	2709.9	1120.5
11504.17627	-4698.6	11778.436	-11778	3241.6	-3241.7
10623.38052	-16634	-692.17	7688.5	-3444.5	-11.607
-225.99	-331.91	56.649		139.46	0.68301
0.81372	1.026	0.64344	0.74379	0.35265	0.2824
-144.34	116.92	-40.209	-288.69	109.46	-44.717
1395672.229	2189798.835	954343.7107	262708.3466	2190038.227	7553581.533
28.946	27.776	55.3	22.541	41.755	102.11
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Rozměry ložisek

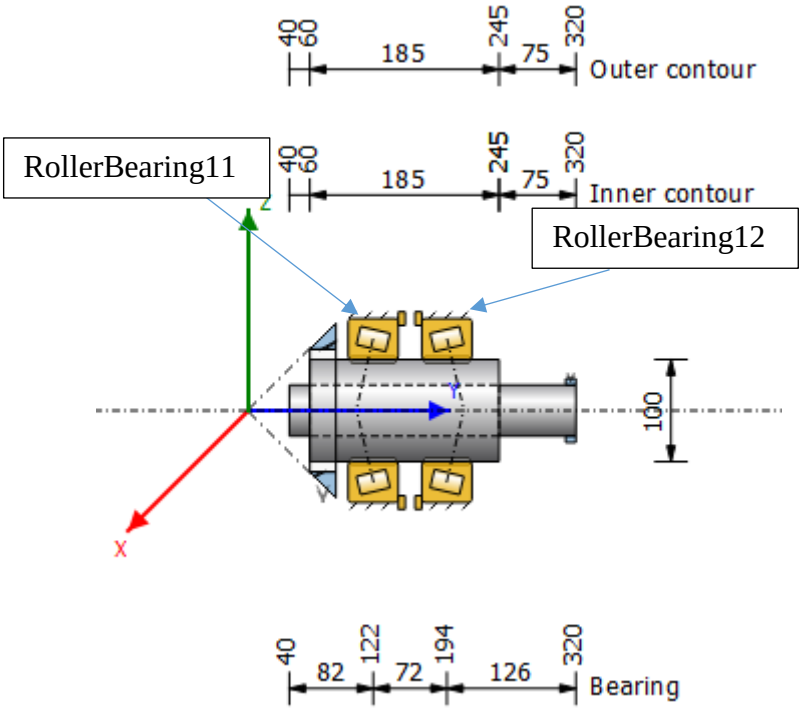
Hledané parametry

Obr. 28: Bezpečnost ložisek – část 2

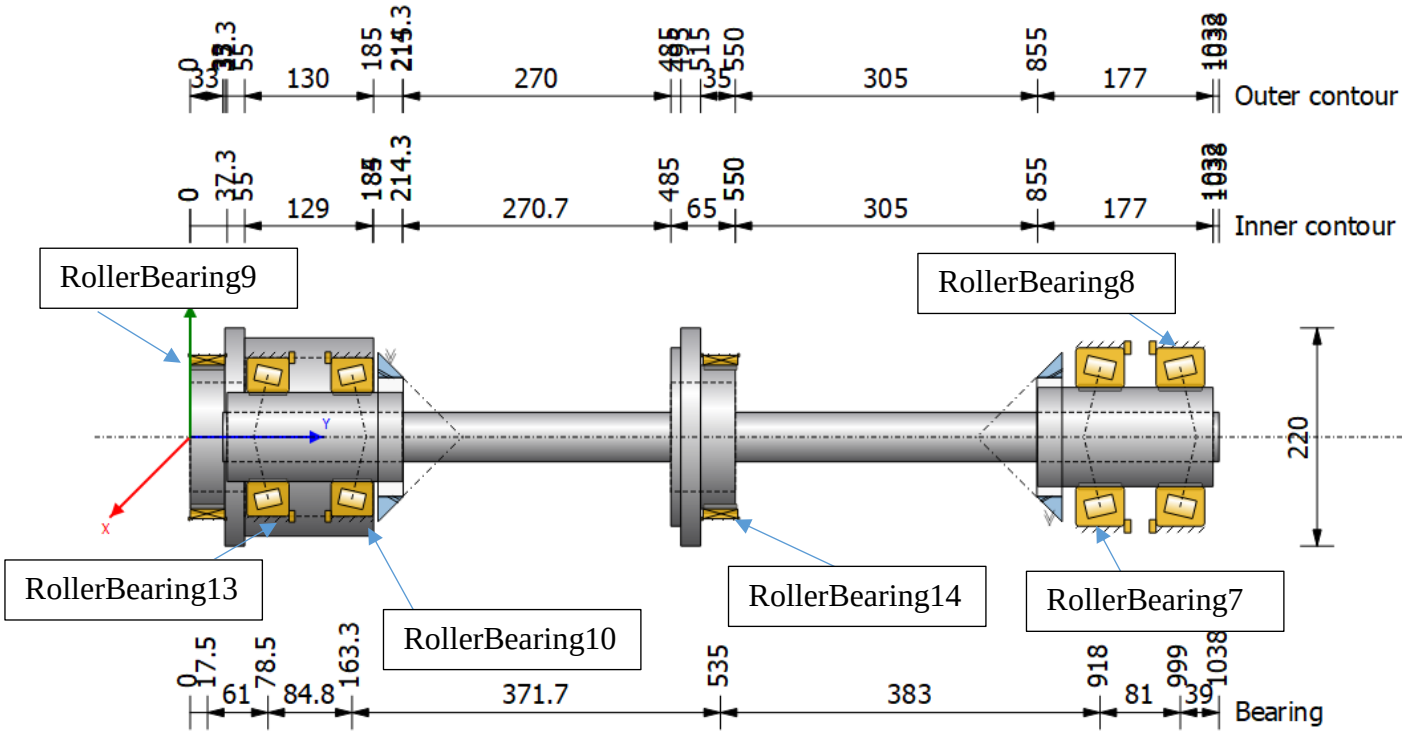
Dalším zkoumaným aspektem ložisek jsou teplotně stabilní otáčky. Zkoumají se pro stav 4.

Tab. 14: Teplotně stabilní otáčky ložisek

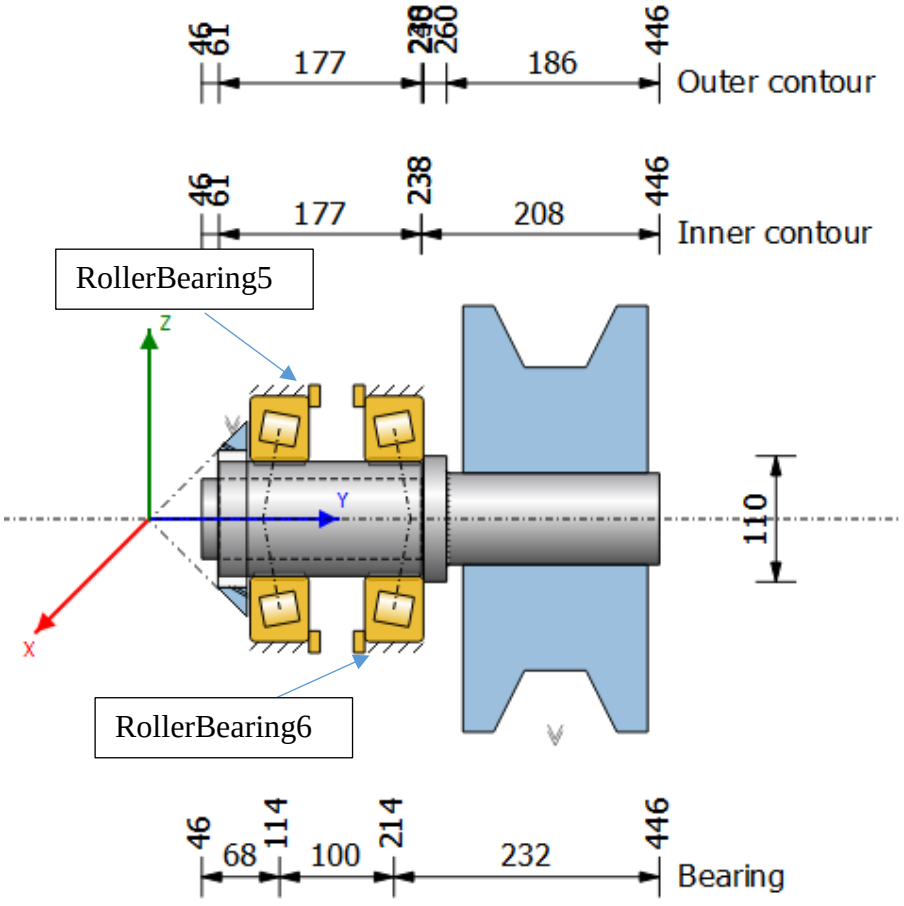
Ložisko - číslo	Typ ložiska	Otáčky (1/min)	Tep. stabilní otáčky (1/min)
Hřídel 1			
RollerBearing11	SKF 32220 X	5132.77	5187.91
RollerBearing12	SKF 30320 X	5132.77	7518.71
Hřídel 2			
RollerBearing7	SKF 32220	5132.77	5338.28
RollerBearing8	SKF 32220	5132.77	7669.08
RollerBearing10	SKF 32220	5132.77	5714.22
RollerBearing9	SKF 32220	5132.77	7293.15
RollerBearing13	SKF RNA 4838	2911.95	4862.72
RollerBearing14	SKF RNA 4838	2911.95	4862.72
Hřídel 3			
RollerBearing5	SKF 30320	4573.54	5426.61
RollerBearing6	SKF 30320	4573.54	4890.65
Hřídel 4			
RollerBearing15	SKF 7226 BGAF	4288.14	4836.72
RollerBearing16	SKF 7226 BGAF	4288.14	4585.46
RollerBearing3	SKF 7224 ACD/HCP4A	4674.94	5820.82
RollerBearing8	SKF 7224 ACD/HCP4A	4674.94	6163.25



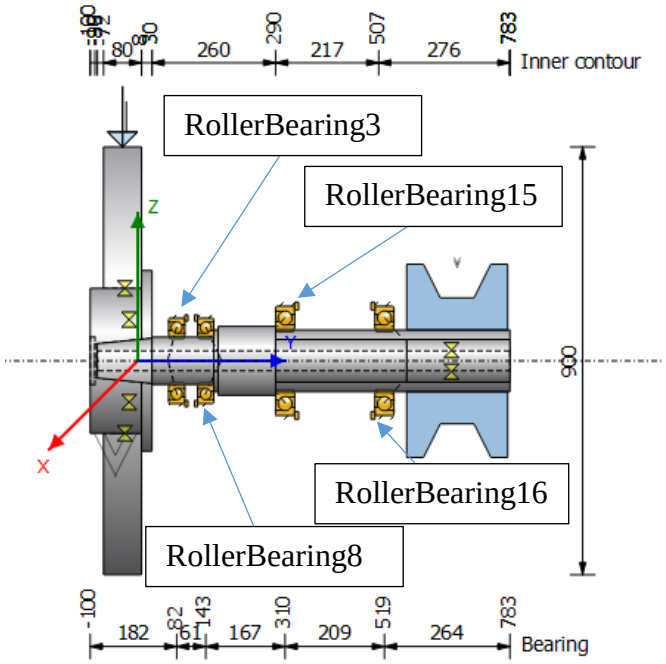
Obr. 29: Výpočtový model – Hřídel 1



Obr. 30: Výpočtový model – Hřídel 2



Obr. 31: Výpočtový model – Hřídel 3



Obr. 32: Výpočtový model – Hřídel 4

Dále byl kontrolován řemenový převod při druhém zatěžovacím stupni.

	VBelt calc1
fileName	
Config	ohne Spannrolle
KA	1
Type	XPC-High-performance v-b
P	70.224
T1	1053.4
T2	1053.4
n1	636.62
n2	636.62
n3	636
neff	6
Usage	89.91
a	600
d1	265
d2	265
d3	265
l	2032.5
i	1
prio	Abtrieb

Obr. 33: Výpočet řemenu

Hřídele a jejich spojení byly také zkontrolovány při zatěžovacím stavu 2.

	sh2 kolo1 2 sh calc	sh3 kolo sh calc	sh kolo sh4 calc	vret trn kolo2 calc
n	954	954	954	636.62
dn	clockwise	clockwise	counter clockwise	counter clockwise
material				
xmin	-0.025043	-0.02441	-0.13749	-0.0025699
xmax	0.013293	0.030084	0.0029081	0.052939
zmin	-0.024227	-0.038981	-0.31154	-0.021118
zmax	0.046716	0.029104	0.030206	0.056209
SDA	4.0087	5.099	3.8295	9999.99
SSA	3.6504	3.5063	4.2449	9999.99

Obr. 34: Kontrola hřídelí

Tab. 15: Minimální hodnoty bezpečnosti

Minimální hodnoty bezpečnosti	
SDA – dynamická bezpečnost	1,25 - 2
SSA – statická bezpečnost	1,25 - 2

Další spojovací prvky jako nalisování a drážky pro pera byly kontrolovány ve druhém zatěžovacím stupni. Délka spojení perem je 50 mm.

Results (basic calculation)

	Shaft	Hub	Key
Pressure stress (N/mm²)	105.3360	105.3360	105.3360
Safeties	3.16	3.67	4.19

Obr. 35: Kontrola pera na hřídeli 3

Results (basic calculation)

	Shaft	Hub	Key
Pressure stress (N/mm²)	93.6320	93.6320	93.6320
Safeties	2.96	3.44	3.92

Obr. 36: Kontrola pera na vřeteni

Cylindrical interference fit

Operating data

Nominal torque	T	1097.2500	Nm	Axial force	F_A	0.0000	N
Bending moment	M_B	0.0000	Nm	Radial force	F_R	0.0000	N
Application factor	K_A	1.0000		Speed	n	636.6200	1/min

Multiple interference fit

External press... (min/mid/max) $p_{amin}/p_{am}/p_{amax}$ 0.0000 0.0000 0.0000 N/mm² Define...

Geometry

Diameter of joint	D_f	50.0000	mm	Length of Interference fit	l	90.0000	mm
Inside diameter, Shaft	D_i	0.0000	mm	Manufacturing tolerance Shaft		s5	
Outside diameter, Hub	D_a	90.0000	mm	Manufacturing tolerance Hub		H6	

Obr. 37: Zadání lisovaného spoje

Results (basic calculation)

Stress: Elastic only

		medium	minimum	maximum
Safety against sliding	$[S_f]$	1.68	1.06	2.30
Safety against fracture, Shaft	$[S_{i,Rm}]$	12.07	8.82	19.11
Safety against fracture, Hub	$[S_{i,Rm}]$	4.89	3.58	7.74
Safety against yield point, Shaft	$[S_{i,Rp}]$	7.09	5.18	11.22
Safety against yield point, Hub	$[S_{i,Rp}]$	3.24	2.37	5.12
Embedding (µm)	[s]		3.8400	

Obr. 38: Výsledné bezpečnosti

5.3. Konstrukční návrh – model konstrukce hlavy

5.3.1. Připojení zařízení ke smykadlu stroje – těleso brousicí hlavy

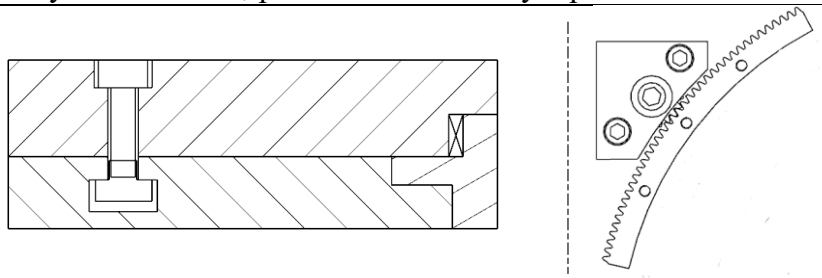
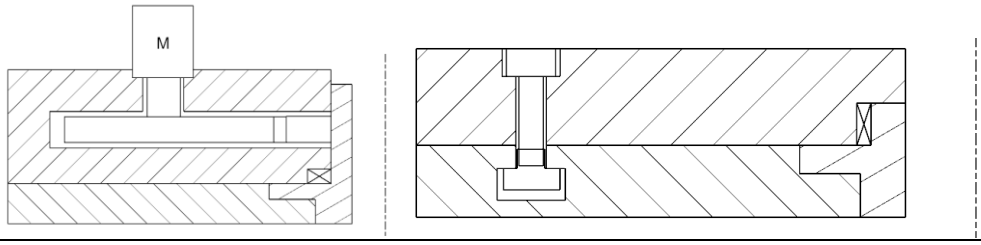
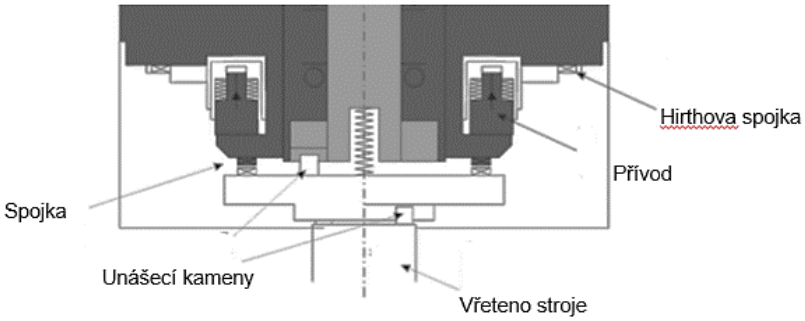
Hlava bude připojena na smykadlo pomocí univerzální příruby – multitask. Příruba je našroubována na skříň obráběcí hlavy. Umožňuje připojení brousicí hlavy ke smykadlu stroje – tuhé spojení pomocí čtyř upínacích jednotek, úhlovou polohu a středění, připojení pohonu brousicího kotouče, dále zdrojů energie a informací (elektrická část pro automatické vyvažování kotouče a indikaci dotyku, hydraulická část pro chlazení brusu).

Obr. 39: Univerzální příruba

5.3.2. Otočené těleso brousicího zařízení

Dle zadání má být umožněno natáčení kotouče okolo vertikální osy v rozmezí ±20°. Mechanismus by měl umožnit dostatečnou možnost polohování a zároveň bezpečné zajištění při obrábění. V následující tabulce je možné vidět možné varianty tohoto konstrukčního uzlu.

Tab. 16: Varianty otáčecího mechanismu [11]

1. Zajištění šrouby s T-maticemi, přenastavení ozubeným převodem na otočném tělese

2. Zajištění šrouby s přenastavení pomocí elektromotoru

3. Natáčení vřetenem stroje, uchycení pomocí kleštinového upínače a talířové pružiny


Jako finální řešení byla vybrána varianta s přenastavením pomocí ozubeného převodu a se zajištěním pomocí šroubů. Hlavní výhodou tohoto řešení je jeho jednoduchá konstrukce a ergonomicky jednoduchý způsob přenastavení úhlu brusky. Četnost přestavování je nízká a změna úhlu zabere velice malou část celkové doby obrábění. Proto není zapotřebí elektronizovat celý proces přestavování.

5.3.3. Dimenzování šroubů a T-matic

Výpočet síly na šroub vychází z řezných sil obrábění a z hmotnosti otočné části.

Síly působící na spojení otočné části:

Tečná síla:

$$F = \begin{bmatrix} F_0 \\ F_1 \\ F_0 \\ F_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1{,}561 * 10^3 \\ 2{,}364 * 10^3 \\ 1{,}561 * 10^3 \\ 2{,}364 * 10^3 \end{bmatrix} N$$

Maximální hodnota: $F = 2{,}364 * 10^3 N$

Radiální síla:

$$F_R = \begin{bmatrix} F_{R0} \\ F_{R1} \\ F_{R0} \\ F_{R1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3{,}121 * 10^3 \\ 9{,}458 * 10^3 \\ 3{,}121 * 10^3 \\ 9{,}458 * 10^3 \end{bmatrix} N$$

Maximální hodnota: $F_R = 9{,}458 * 10^3 N$

Tíha otočné části:

$$F_Q = [\,0 \quad 0 \quad -8750]N$$

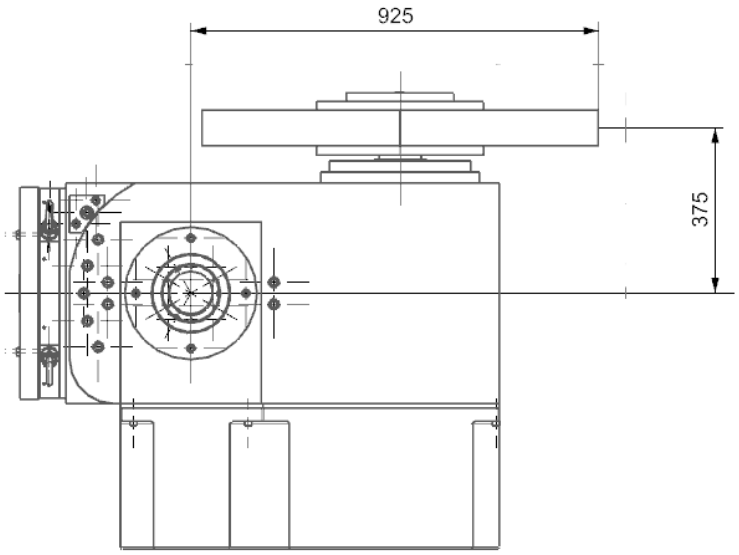
Vektor působící síly:

$$F_{rez} = [\,-F_R \quad 0 \quad F] = [\,-9{,}458 * 10^3 \quad 0 \quad 2{,}364 * 10^3]N$$

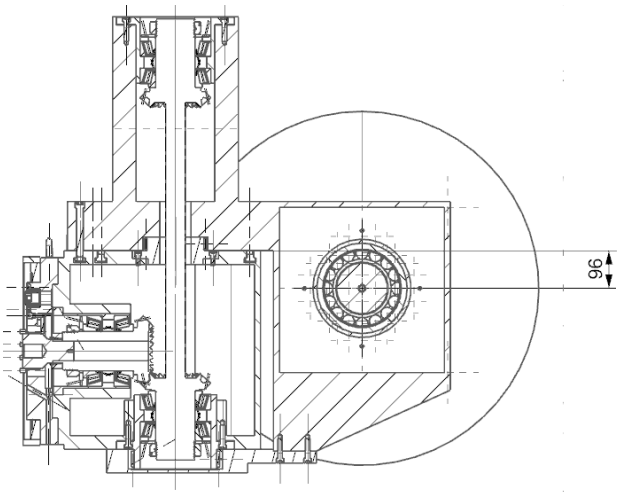
Průvodič řezné síly:

$$r_F = [\,925 \quad 365 \quad -96]\,mm$$

Počátek souřadnic se nachází na průsečíku osy otáčení otočného tělesa a horní plochy pevného tělesa.



Obr. 40: Souřadnice průvodiče řezné síly – 1



Obr. 41: Souřadnice průvodiče řezné síly – 2

Souřadnice průvodiče tíhové síly:

$$r_Q = [\,171 \quad 16 \quad -15]mm$$

Poloha těžiště a velikost tíhové síly byla zjištěna pomocí programu Siemens NX.

Vektor zatížení:

$$F_c = F_{rez} + F_Q = [\,-9{,}458 * 10^3 \quad 0 \quad -6.386 * 10^3]N$$

Moment v počátku souřadnice x, y, z:

$$M = r_F^T \times F_{rez}^T + r_Q^T \times F_Q^T = \begin{bmatrix} 722.86 \\ 217.518 \\ 3452 \end{bmatrix} Nm$$

Souřadnice šroubů:

$$x = [188.4 \quad -188.4 \quad -210.4 \quad -234.7 \quad -243 \quad -234.7 \quad -210.4 \quad -188.4 \quad 188.4]$$

$$y = [24.8 \quad 24.8 \quad 121.5 \quad 62.9 \quad 0 \quad -62.9 \quad -121.5 \quad -24.8 \quad -24.8]$$

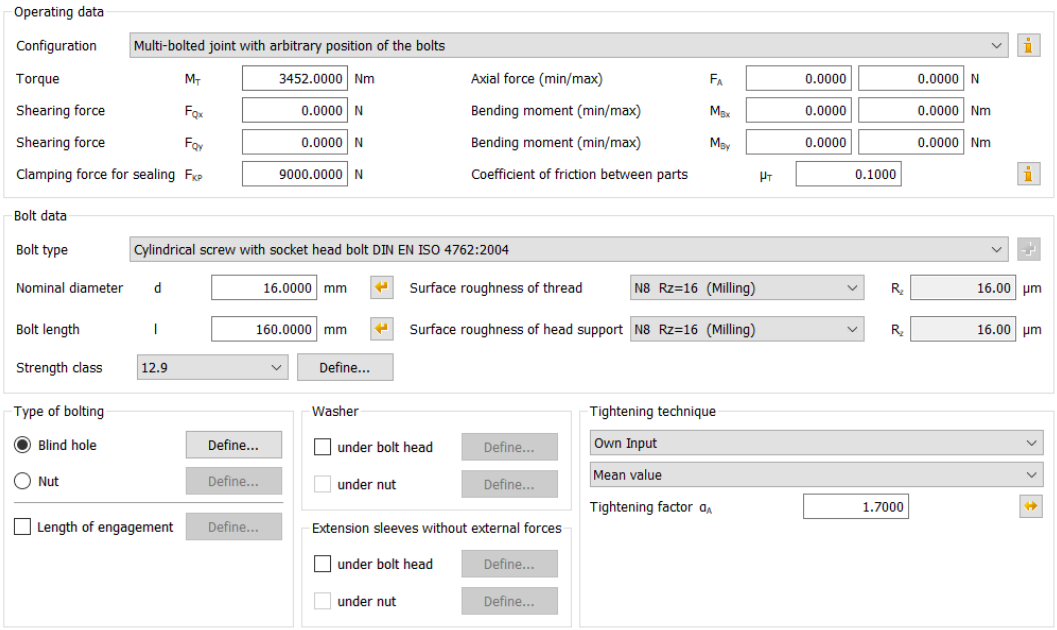
Byl zvolen šroub M16. Tloušťka upínané příruby je 125 mm. Hodnota s šroubového spoje vyjadřuje polohu středu pružnosti v souřadném systému. Tato hodnota byla získána z KISSsoftu.

$$s = \begin{bmatrix} 125.9 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} mm$$

Výsledný moment na spojení:

$$M_S = M + s \times F_c^T = \begin{bmatrix} 722.86 \\ 1022 \\ 3452 \end{bmatrix} Nm$$

Dalším krokem bylo dimenzování šroubů. K tomu byl použit program KISSsoft. Do modulu Bolt calculation byly zadány vypočtené parametry včetně pozice šroubů. Navržené šrouby jsou rozměru M16.

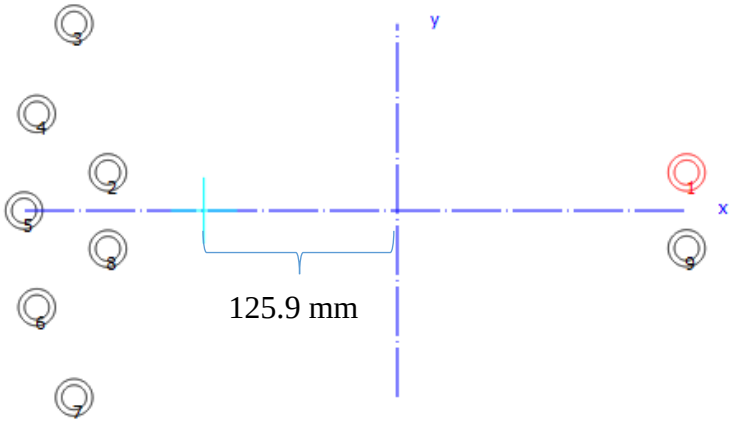


Obr. 42: Zadání výpočtu spoje

Basic data | Clamped parts | Position of bolt | Conditions

	x-coordinate [mm]	y-coordinate [mm]	Factor	Axial force F_{a1} [N]	Axial force F_{a2} [N]	Required clamping force F_{kerf} [N]
1	188.400	24.800	1.00	0.000	0.000	36653.687
2	-188.400	24.800	1.00	0.000	0.000	7814.459
3	-210.400	121.500	1.00	0.000	0.000	17201.320
4	-234.700	62.900	1.00	0.000	0.000	14607.200
5	-243.000	0.000	1.00	0.000	0.000	13612.239
6	-234.700	-62.900	1.00	0.000	0.000	14611.079
7	-210.400	-121.500	1.00	0.000	0.000	17207.683
8	-188.400	-24.800	1.00	0.000	0.000	7817.318
9	188.400	-24.500	1.00	0.000	0.000	36651.567

Obr. 43: Zadání polohy děr



Obr. 44: Schéma spojení

Z výsledků byly zjištěny bezpečnosti daného spojení. Minimální hodnota bezpečnosti je 1,25.

Calculation with the maximum required assembly preload with tightening factor:		**1.70**
Safety against yield point	[SF]	2.49
Safety against fatigue	[SD]	1000.00
Safety against pressure	[SP]	2.24

Obr. 45: Bezpečnosti šroubového spojení

Z výsledků byly dále zjištěny předepínací síly a utahovací moment.

Minimální předepínací síla:

$$F_{pmin} = 39117.06\ N$$

Maximální předepínací síla:

$$F_{pmax} = 66497.68\ N$$

Minimální utahovací moment:

$$M_{Umin} = 85.85\ Nm$$

Maximální utahovací moment:

$$M_{Umax} = 145.94\ Nm$$

Z těchto hodnot byla vypočtena síla na klíč.

Střední hodnota upínacího momentu šroubů:

$$M_s = \frac{85.85 + 145.94}{2} = 115.895\ Nm$$

Zvolená délka ramene momentového klíče:

$$L = 465\ mm$$

Síla na klíči:

$$F_k = \frac{M_s}{L} = 249.237\ N$$

5.3.4. Návrh otáčecího mechanismu

Otáčecí mechanismus je tvořen ozubeným kolem a výsečí ozubeného věnce přichycené pomocí šroubů na otočné těleso. Výpočet potřebné osové vzdálenosti a převodového poměru byl proveden v programu Mathcad.

Výpočet točivého momentu:

Tíha otočné části

$$F_Q = [\,0 \quad 0 \quad -8750]N$$

Souřadnice průvodiče síly:

$$r_Q = [\,171 \quad 16 \quad -15]mm$$

Vzdálenost průvodiče síly od počátku souřadnic ve vodorovné rovině:

$$r_{Qxy} = \sqrt{r_{Q1}^2 + r_{Q2}^2} = 171.747\ mm$$

Točivý moment:

$$M_Q = r_Q^T \times F_Q^T = \begin{bmatrix} 140 \\ -1496 \\ 0 \end{bmatrix} Nm$$

Přenos klopného momentu plochou v poddajně radiálním uložení – naklopení na horní rovině.

Vnější poloměr drážky:

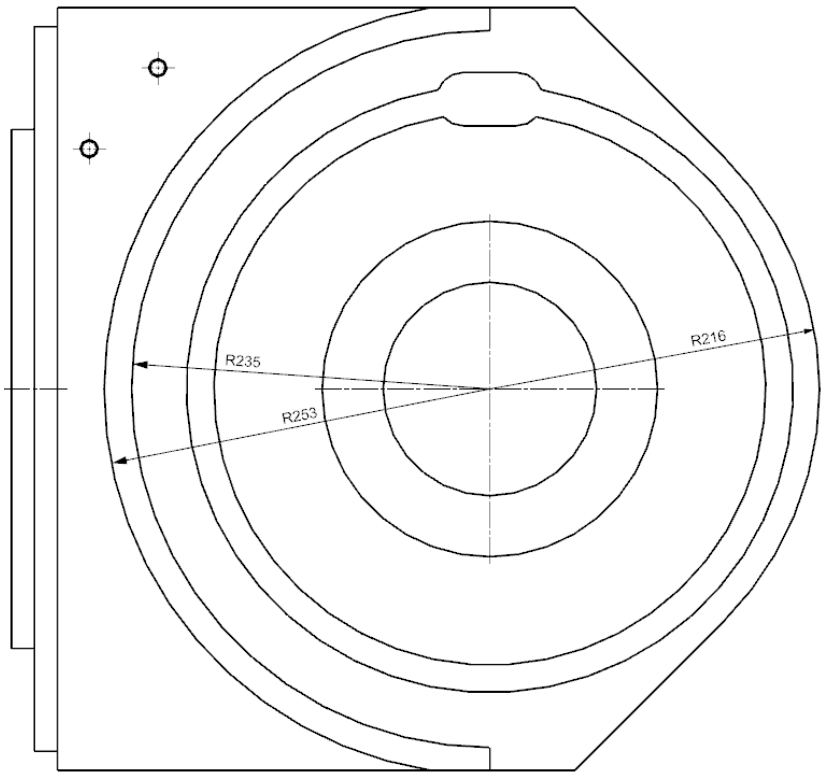
$$a_1 = 253\ mm$$

Vnitřní poloměr drážky:

$$b = 235\ mm$$

Průměr hrany otáčení na pevné skříni:

$$c = 216\ mm$$



Obr. 46: Průměry na vrchní straně pevné části

Délka mezi podporami:

$$L_p = \frac{a_1 + b}{2} + c = 460\ mm$$

Vyložení tíhy:

$$a = \sqrt{r_{Qx}^2 + r_{Qy}^2} - c = \sqrt{171^2 + 16^2} - 216 = -44.253\ mm$$

Reakce na hraně roviny:

$$F_{R1} = F_Q * \frac{a + L_p}{L_p} = [0 \quad 0 \quad 7908]N$$

Reakce v místě šroubu:

$$F_{R2} = -F_Q + F_{R1} = [0 \quad 0 \quad -841.771]N$$

Koeficient tření:

$$f = 0.2$$

Třecí moment:

$$M_{2a} = (F_{R1} * c + F_{R2} * a_1) * f = [0 \quad 0 \quad 299.042]N * m$$

Přenos klopného momentu radiálním uložením.

Zvolené axiální ložisko má poloměr 82.5.

$$k = 82.5\ mm$$

Klopný moment:

$$M_{2b} = F_{Qz} * 0{,}75 * k * f = 108.281\ Nm$$

Jako výpočtový moment se bere vyšší hodnota tedy $M_{2a.}$

Zvolené vstupní otáčky otočné části:

$$n_1 = 10\ min^{-1}$$

Roztečné průměry kol:

$$D_2 = 560\ mm$$

$$D_1 = 40\ mm$$

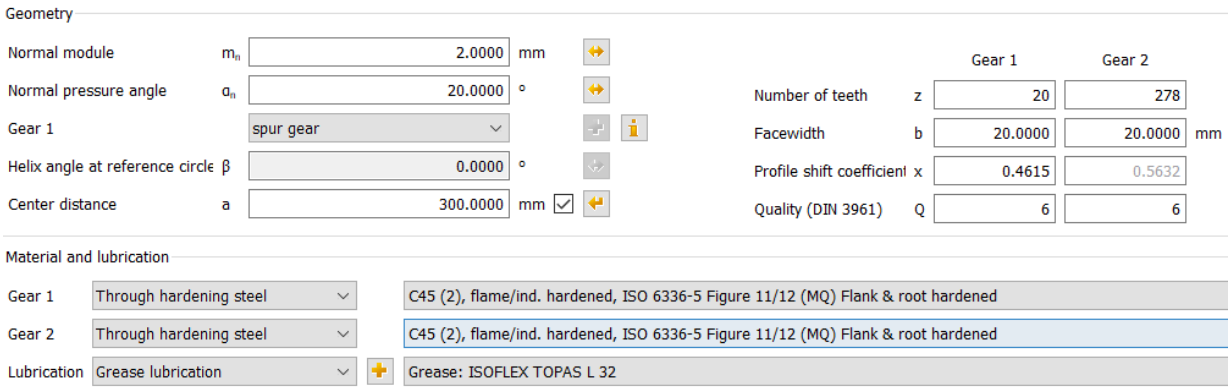
Převod:

$$i_{12} = \frac{D_2}{D_1} = 14$$

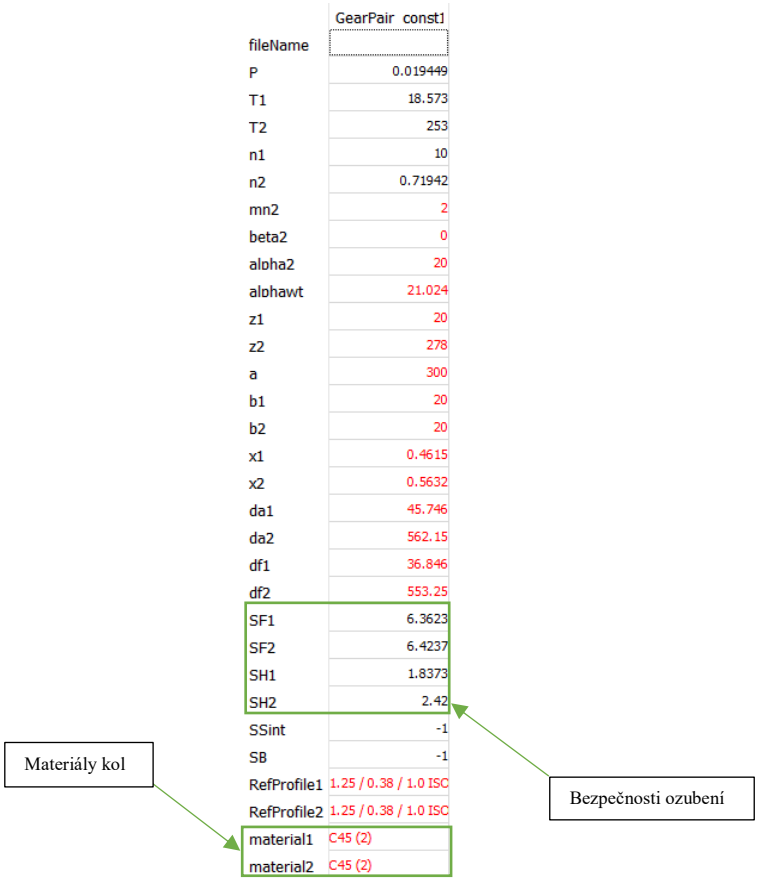
Osová vzdálenost:

$$a = \frac{D_1 + D_2}{2} = 300\ mm$$

Návrh ozubeného převodu byl proveden v programu KISSsys.

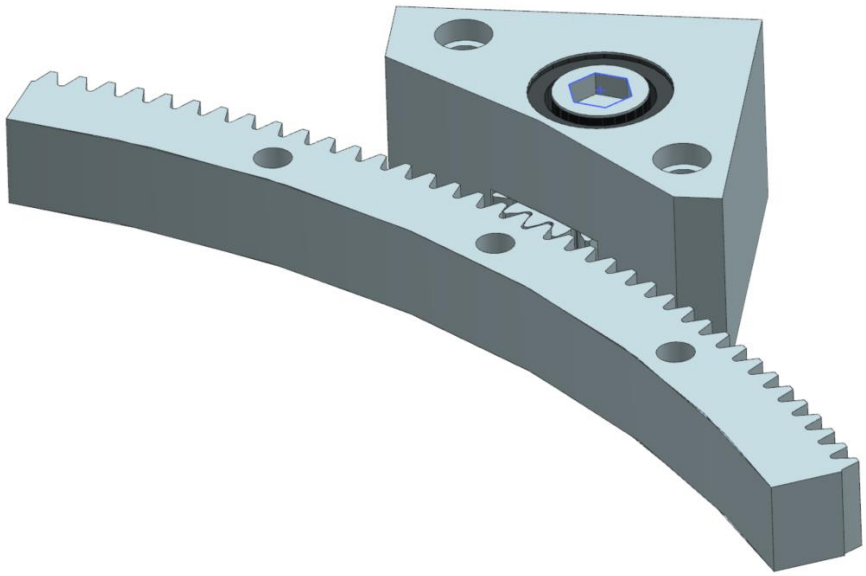


Obr. 47: Výpočet ozubení v programu KISSsys



Obr. 48: Bezpečnosti kol otáčecího mechanismu

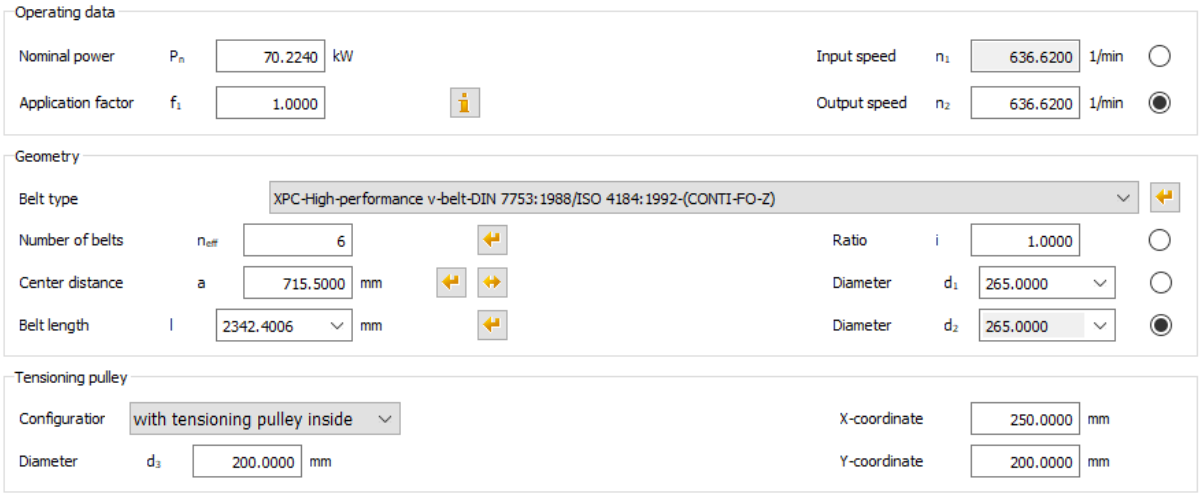
Výstupem z programu byl stl. model ozubeného převodu, který byl naimportován do CAD. Mechanismus byl doplněn o těleso natáčení. Pastorek je uložen v samomazném pouzdře z PPMF od firmy Mateza. Na tělesu otáčení bude umístěna stupnice.



Obr. 49: Otáčecí mechanismus

5.4. Řemenový převod

Řemenový převod byl vložen do mechanismu kvůli jeho schopnosti tlumit rázy. Dalšími jeho výhodami jsou cena, tichý chod a konstrukční jednoduchost. Na druhou stranu je nutné zajistit jeho stálé napnutí. Dále je také málo odolný vůči vyšším teplotám a nečistotám z prostředí. Jeho parametry byly navrženy v prostředí programu KISSsys pro zatěžovací stav dvě, tedy při výkonu 70 kW a 636 otáčkách za minutu.



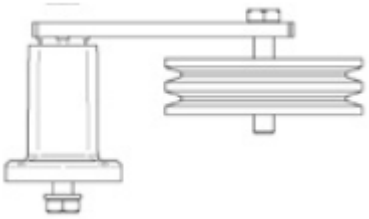
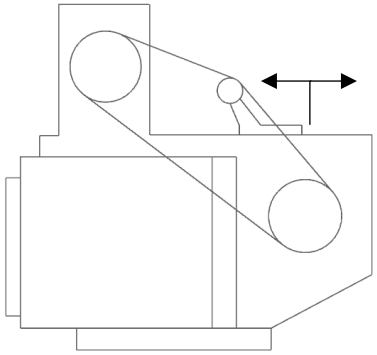
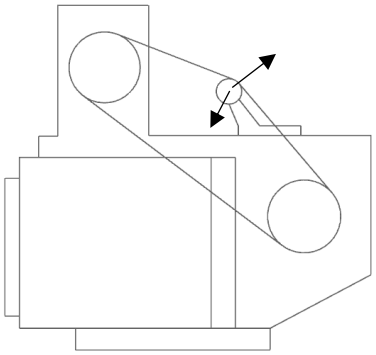
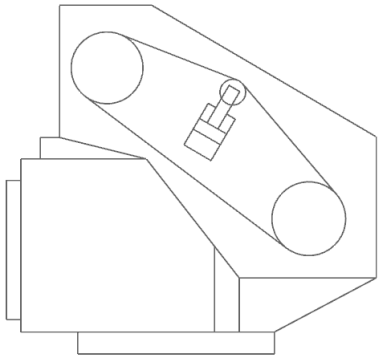
Obr. 50: Výpočet řemene

5.5. Napínací kladka řemenového převodu

Napínací kladka slouží k napnutí řemene. Mechanismus může být seřizován automaticky nebo manuálně. V případě ručních napínačů dochází k napínání otáčením šroubu. Automatický systém je většinou napínán pružinou. [7]

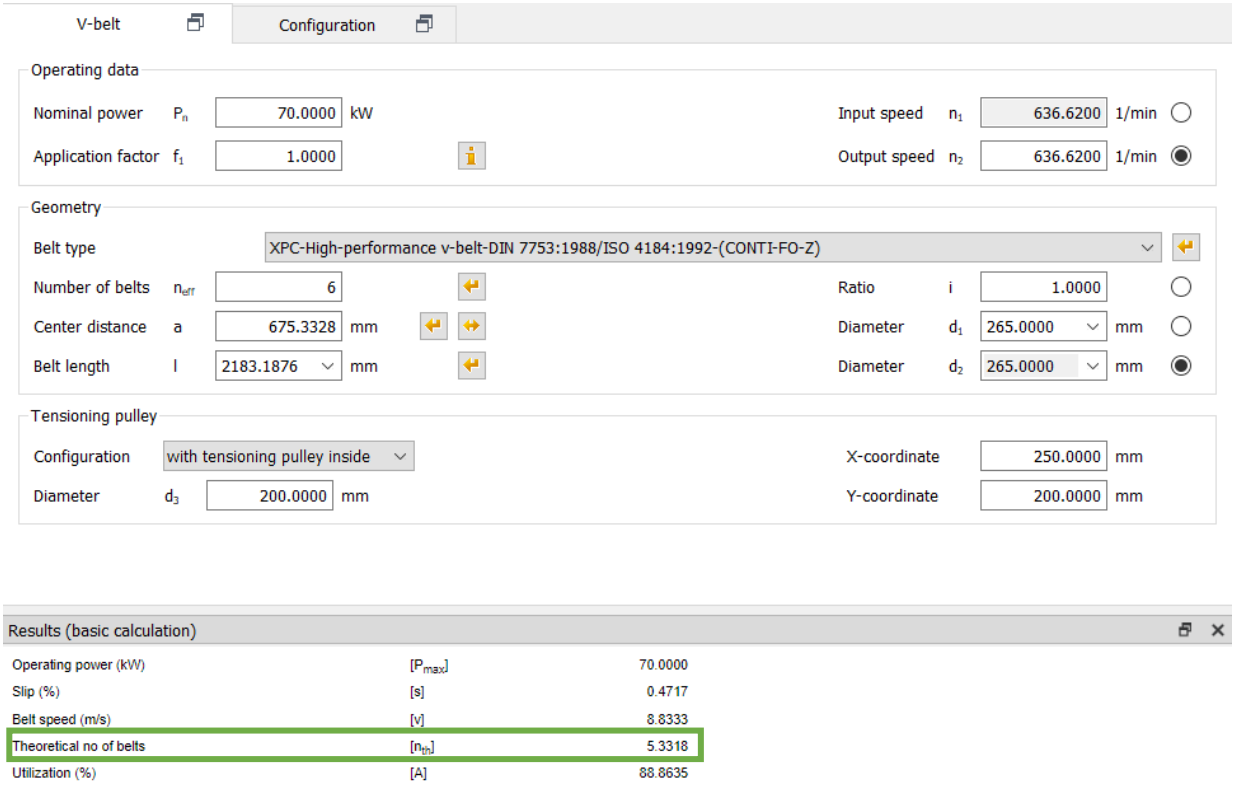
Varianty konstrukce tohoto uzlu jsou znázorněny v následující tabulce.

Tab. 17: Varianty řešení napínací kladky

Univerzální napínák Rosta	Napnutí pojezdem po vlastních saních
	
Napnutí naklopením	Napnutí pojezdem po vlastních saních umístěných na desce
	

Jako finální řešení byla zvolena varianta se saněmi umístěnými na desce. Její hlavní výhodou je následná snadná konstrukce krytu řemene a jednoduché upevnění napínací kladky.

Výpočet potřebné síly na kladku byl proveden v programu KISSsys a MITCalc. Byl zvolen řemen řady XPC. Průměry řemenic jsou 265 mm, průměr napínací kladky byl zvolen 200 mm. Zjištěný teoretický počet řemenů je 5,33.



Obr. 51: Zadání výpočtu řemene

Program MITCalc byl použit k návrhu napínací kladky. Účelem bylo zjistit potřebný rozsah přenastavení a sílu působící na kladku.

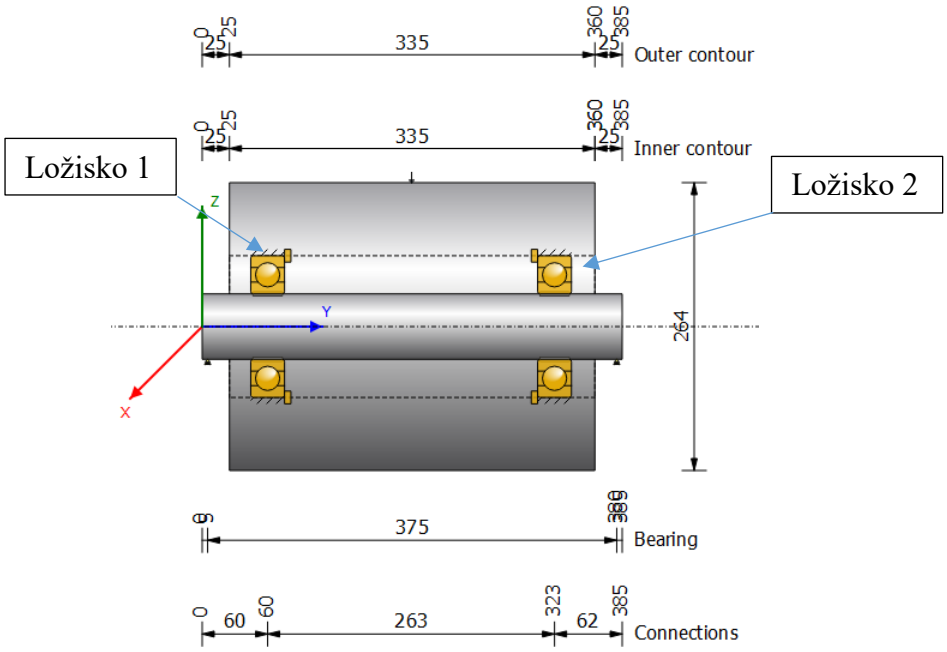
3.14	- Předpětí	Fo	6993,93	6558,26	166,34	[N]
3.15	- Statická síla na hřídel (v klidovém stavu)	Frs	13615,80	13799,41	5389,14	[N]
3.16	- Síla v zatížené větvi řemene	F1	10960,06	10827,59	6993,93	[N]
3.17	- Síla v odlehčené větvi řemene	F2	3027,81	3160,28	6993,93	[N]
3.18	- Celková radiální síla na hřídel (ložiska)	Fr	13736,55	13856,30	5389,14	[N]

Obr. 52: Síla na kladku

3.5	**Osová přestavitelnost**		c12	c23	c31	
3.6	- Pro napínání řemene	x	22,98	22,67	58,05	[mm]
3.7	- Pro snažší nasazení řemene	y	11,49	11,34	29,02	[mm]

Obr. 53: Přenastavitelnost kladky

Tyto hodnoty byly použity při návrhu vnitřních ložisek napínací kladky za pomoci programu KISSsoft. Byla zvolena ložiska SKF 6312 ZNR.



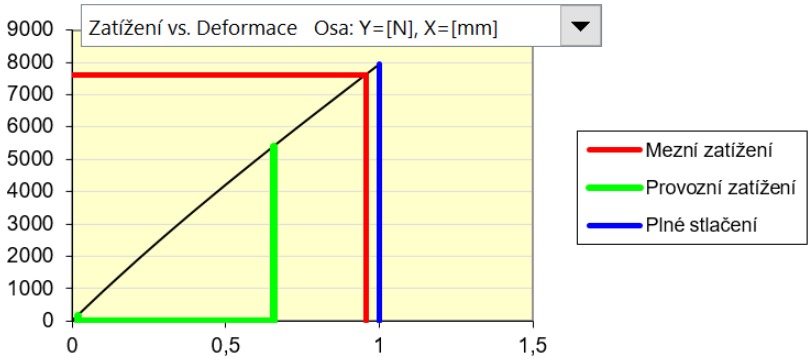
Obr. 54: Výpočtový model kladky

Zjištěná životnost ložiska jedna je 14252 hodin, ložiska dva 15434 hodin.

Do konstrukce byla vložena předepínací talířová pružina. Její parametry byly navrženy v programu MITcalc. Jedná se o jednodiskovou pružinu o vnějším průměru 50 mm, vnitřním průměrem 25,4 a výšce 3,5 mm.

Tab. 18: Bezpečnost talířové pružiny

Pevnostní kontrola (statické zatížení)		
Dovolené napětí v tlaku	1965	[MPa]
Max. tlakové napětí	1406,5	[MPa]
Max. tahové napětí	864	[MPa]
Doporučená míra bezpečnosti	1,00	
Míra bezpečnosti	1,40	



Obr. 55: Závislost zatížení na deformaci pružiny

5.6. Tuhost brusky v místě nástroje

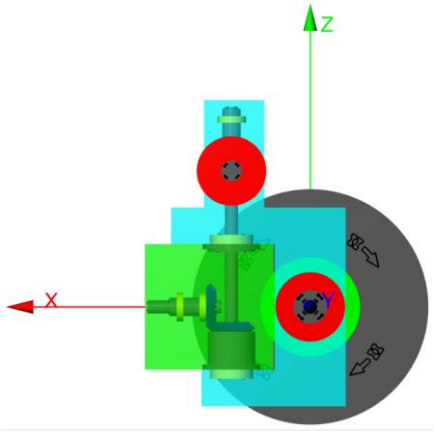
Tuhost brusky má přímý vliv na výslednou dynamickou stabilitu obráběcího procesu a tím i na kvalitu obrobeného povrchu. Jedná se především o tuhost ve směru kolmém na brusný kotouč (směr x na obrázku). Hodnota výsledné tuhosti zabezpečující dynamickou stabilitu měřená na

vlastním stroji je 30 – 50 kN/mm [6]. Tato tuhost se skládá z tuhosti uložení vřetene, těles brusky, obrobku a stroje.

Vztah pro celkovou tuhost:

$$\frac{1}{k_c} = \frac{1}{k_{vret}} + \frac{1}{k_{tel}} + \frac{1}{k_{str}} + \frac{1}{k_{obr}}$$

Tuhost stroje a obrobku se při výpočtu zanedbává.



Obr. 56: Směr tuhosti

5.6.1. Tuhost uložení vřetene

Ke stanovení tuhosti uložení vřetene byl použit program KISSsys. Tuhost je dána vztahem mezi působící silou a posunutím.

$$k_{vret} = \frac{F_p}{\varepsilon}$$

V místě kotouče je Fp rovna 9458 N a posunutí 0,0406 mm.

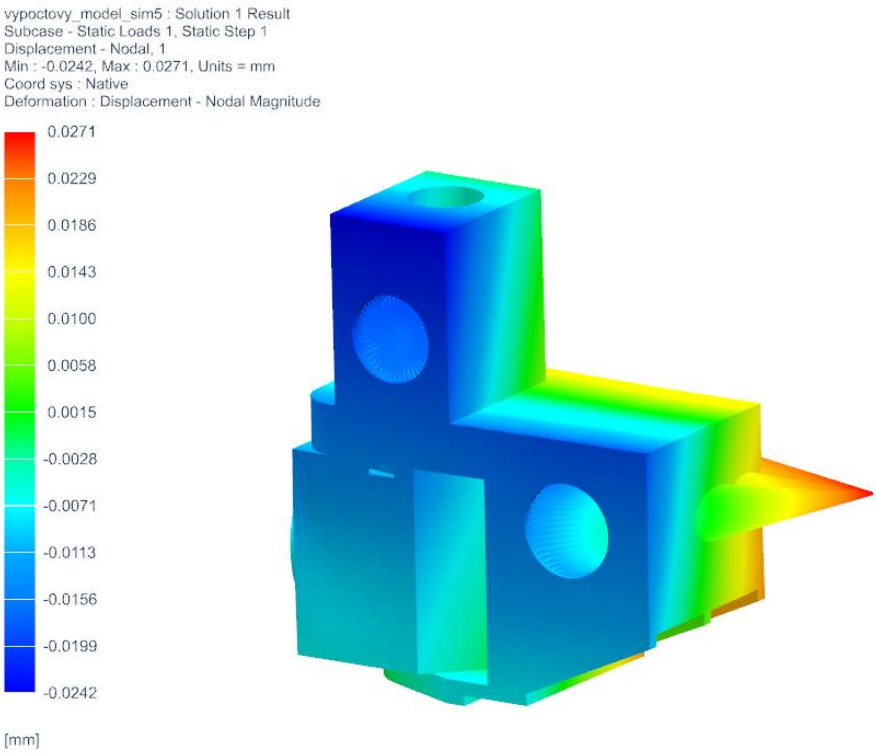
$$k_{vret} = \frac{9458}{0{,}0406} = 232{,}956\ \frac{kN}{mm}$$

5.6.2. Tuhost těles

Tuhost těles brusky byla určena pomocí programu Siemens NX metodou konečných prvků. Do výpočtu bylo zahrnuto pevné těleso, pohyblivé těleso, spodní deska a příruby.

Nejprve bylo potřeba v místech ložisek „naříznout“ plochu. Dále byly odebrány všechny detaily ze všech těles. Pro tuhostní úlohu je zapotřebí pouze hrubá síť, proto byl model nasíťován tetrahedry o velikosti 30 mm. Ložiska byla nahrazena rigidovou sítí a hřídele beamy s odpovídajícími pevnostními parametry a velikostmi. V předběžných analýzách byl postupně zkoušen kontakt mezi jednotlivými tělesy a nasimulování šroubového spojení. Ovšem tato simulace měla jen malý vliv na celkovou tuhost a prodlužovala čas výpočtu, proto bylo přistoupeno k nastavení kontaktu „Gluingem“.

Model byl uchycen na ploše příruby multitask za pomocí pevné vazby ve všech směrech. Zatížení bylo aplikováno do bodu dotyku kotouče s obrobkem. Zatížení představují řezné síly při druhém zatěžovacím stupni, tedy 9458 N v radiálním směru a 2364 N v tečném směru. Z bodu dotyku kotouče byla síla přenesena rigidovou sítí na vnitřní plochu uložení vřetene v otočném tělese.



Obr. 57: Posunutí ve směru x

Posunutí ve směru x v místě nástroje je 0,0271 mm.

Ve směru x je hlava zatížena silou 9458 N. Tuhost těles v tomto směru je poté:

$$k_{tel} = \frac{F_p}{\varepsilon} = \frac{9458}{0{,}0271} = 349{,}003\ \frac{kN}{mm}$$

5.6.3. Celková tuhost – porovnání s mezní hodnotou

Celkovou tuhost je možné zjistit úpravou vztahu z úvodu kapitoly:

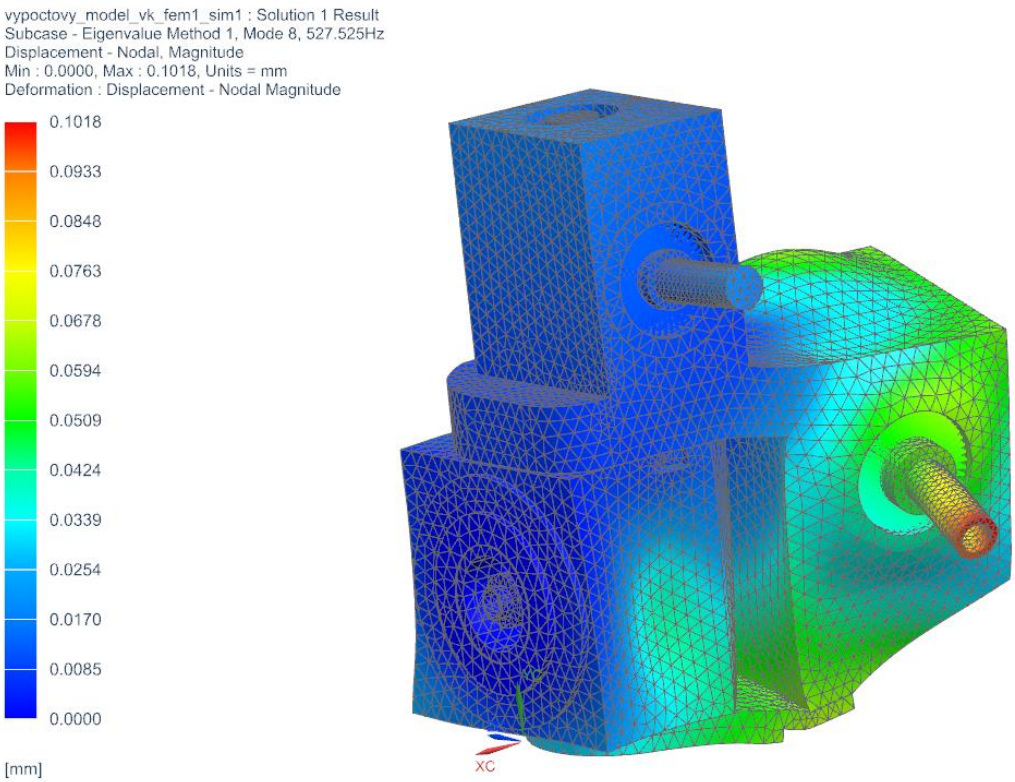
$$k_c = \frac{k_{vret} k_{tel}}{k_{vret} + k_{tel}} = \frac{232{,}956 * 349{,}003}{232{,}956 + 349{,}003} \cong 139 \frac{kN}{mm}$$

Tato hodnota je výrazně vyšší než dovolená hodnota (30 – 50 kN/mm) [6]. Konstrukce proto vyhovuje.

5.7. Vlastní frekvence a tvary kmitů sestavy

Vlastní kmity a s nimi korespondující tvary, takzvané módy, se určují pomocí modální analýzy. Jedná se o nejjednodušší typ úlohy pro stanovení základních dynamických vlastností daného zařízení. V případě, že se hodnoty vlastních frekvencí blíží k budící frekvenci, může struktura začít rezonovat, což by mohlo vést k poškození zařízení. Tvary vlastních frekvencí mohou poukazovat na potenciální slabá místa konstrukce.

Výpočtový model se skládá z pevného tělesa, pohyblivého tělesa, spodní desky, přírub a hřídelí. Ložiska byla nahrazena rigidovým spojením. Podobně jako u tuhostní analýzy je použito pevné spojení těles. Model je vetknut pevným spojením v místě příruby multitask. V případě modální analýzy není třeba těleso zatěžovat.



Obr. 58: Ukázka výsledku modální analýzy

Frekvence vlastních kmitů je potřeba porovnat s budící frekvencí motoru při různých stavech a s frekvencemi zubových záběrů. Frekvence se uvádí v hertzích, přičemž jeden hertz odpovídá 60 otáčkám za minutu.

$$f = \frac{n}{60}$$

Rozsah otáček motoru je 636 až 954 ot/min. To odpovídá rozsahu frekvencí 10,6 Hz až 15,9 Hz.

Frekvence zubových záběrů se vypočte ze vztahu:

$$f_0 = \frac{z * n}{60}$$

V převodovém mechanismu jsou pouze kola s počtem zubů 22. Výsledný rozsah frekvence je tedy 233,2 až 349,8 Hz.

$$f_{01} = \frac{22 * 636}{60} = 233{,}2\ Hz$$

$$f_{02} = \frac{22 * 954}{60} = 349{,}8\ Hz$$

Tyto hranice je třeba rozšířit odpovídajícími koeficienty bezpečnosti.

$$f_{b01} = f_{01} * 0{,}4 = 93{,}3\ Hz$$

$$f_{b02} = f_{01} * 1{,}6 = 559{,}7\ Hz$$

Vlastní frekvence zařízení by se tedy neměly pohybovat v rozmezí 93 až 560 Hz.

Tab. 19: Vlastní frekvence

Mód	Vlastní frekvence (Hz)
1	68,36
2	73,75
3	**225,37**
4	**290,65**
5	**430,15**
6	**432,53**
7	**505,11**
8	**527,53**
9	607,59
10	610,67
11	657,07
12	704,57
13	750,14
14	772,16
15	787,28
16	797,27
17	797,45
18	842,96
19	893,58
20	961,21

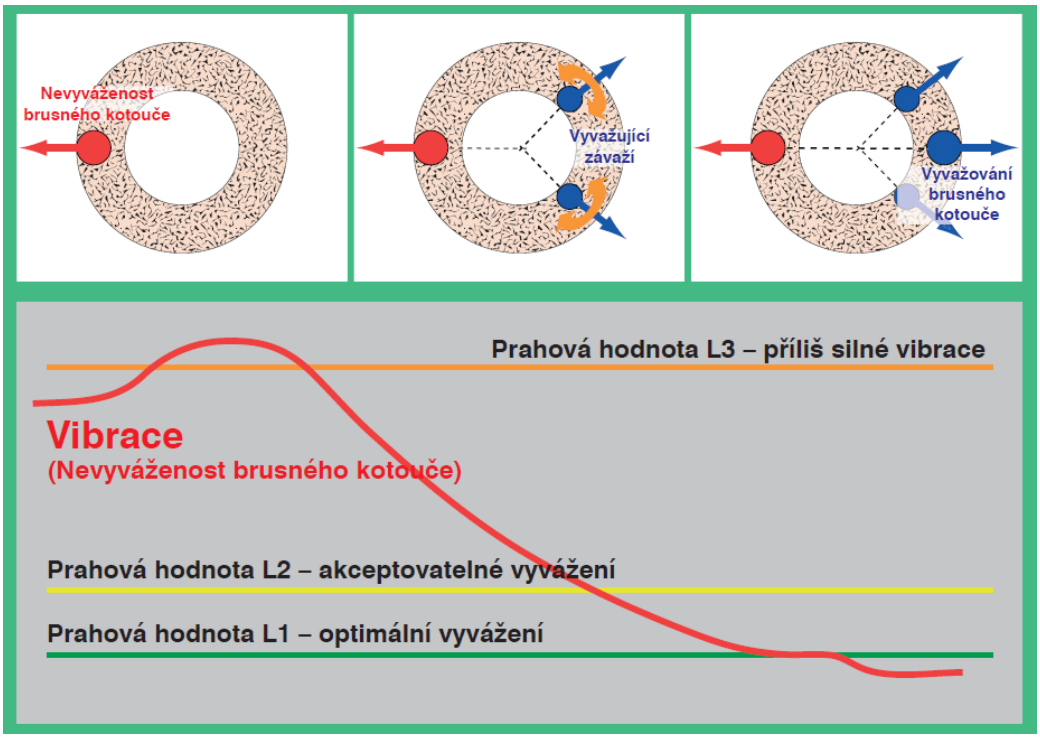
Do tohoto rozmezí spadá šest vlastních frekvencí. V případě shody při procesu by došlo k rezonanci a tím i ke zhoršení kvality obrábění. Rezonanci je možné se vyhnout záměnou kuželových kol za jiný druh převodu, což je v případě zvolené konstrukce brousicí hlavy ovšem nemožné. Dále by také mohly být izolovány zdroje buzení od uložení vřetene. Nejjednodušším řešením by byla vhodná volba řezných podmínek, tedy otáček tak, aby se budící frekvence vyhnula vlastním frekvencím.

5.8. Automatické vyvažování a indikace dotyku kotouče

Se zvyšujícími se otáčkami vřeten brusek rostou i požadavky na udržení kontroly jejich vibrací. Vibrace mají přímý vliv na výslednou kvalitu povrchu a také na životnost stroje. Zdrojem vibrací je brusný kotouč. Konkrétně jsou vibrace zapříčiněny těmito příčinami: nerovnoměrné rozdělení brusiva a pojiva, asymetrická montáž kotouče a příruby, nerovnoměrné opotřebení, trhliny v kotouči a následná absorpce chladicí kapaliny. Proto je nutné kompenzovat, pokud možno, veškeré tyto nevyváženosti vřetene. Nežádoucí vibrace ve stroji vykazují stejnou frekvenci jako otáčky vřetene. K jejich eliminaci se používá systém, který měří zrychlení a provádí korekci pomocí změny pozice interních závaží. [14]

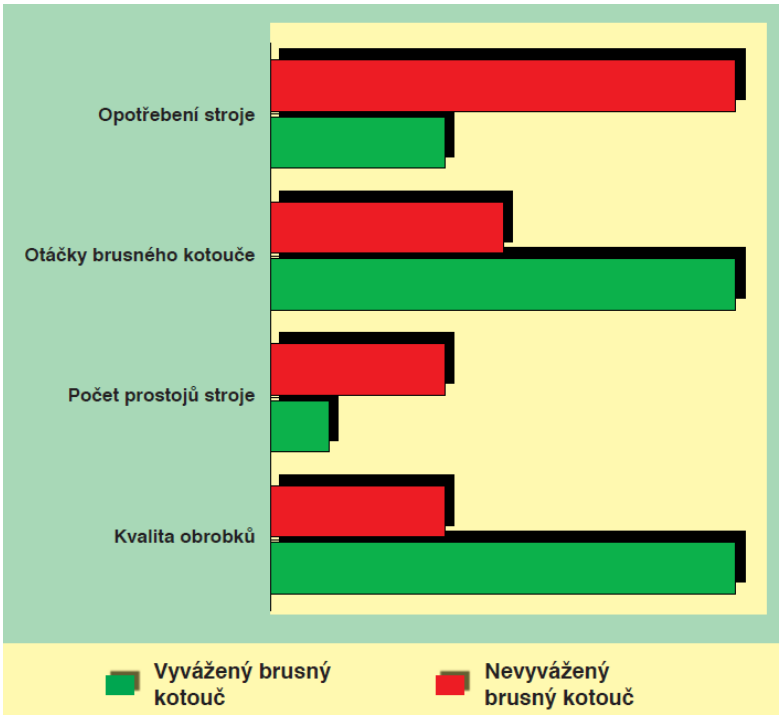
5.8.1. Princip vyvažování

Na následujícím obrázku je možné vidět princip vyvažování brusného kotouče. Nevyváženosti brusného kotouče jsou proměnné v čase. Jejich změna ovlivňuje nejenom vibrace ve stroji ale i výslednou geometrickou přesnost a drsnost obráběného povrchu.



Obr. 59: Princip vyvažování [14]

Běžně jsou brusné kotouče vyvažovány mimo stroj pomocí změny uspořádání vyvažovacích závaží. Tento proces je velmi časově náročný a navíc je k němu zapotřebí kvalifikovaný personál. Kotouč může být optimalizován jen pro jeho momentální stav. Automatizací procesu dojde k úspoře času, zvýšení flexibility, eliminaci práce stroje s nevyváženým kotoučem, úspoře kvalifikovaných lidských zdrojů a zvýšení bezpečnosti práce. Na následujícím obrázku je možné vidět porovnání užitných vlastností stroje s a bez vyvažování. [14]



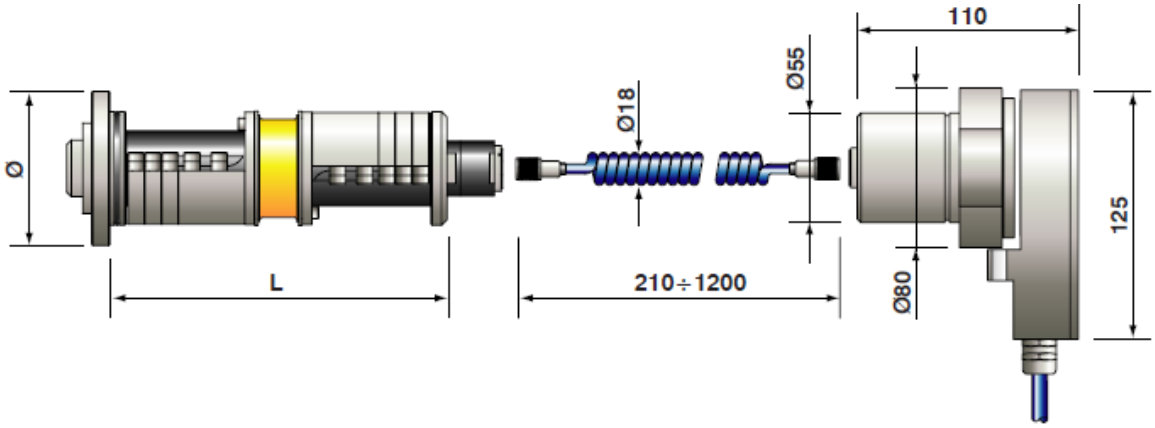
Obr. 60: Porovnání užitných vlastností brusných kotoučů [14]

5.8.2. Výběr vyvažovacího systému

Vyvažovací hlavy od firmy Marposs tvoří elektromechanický systém, který měří kmitání brusného kotouče a příslušně mění polohu vyvažovacích závaží. Jedná se o zařízení určená jak pro konvenční kotouče, tak i pro CBN nebo diamantové kotouče. Je možné je dělit na hlavy přírubové a vkládané do vřetene stroje.

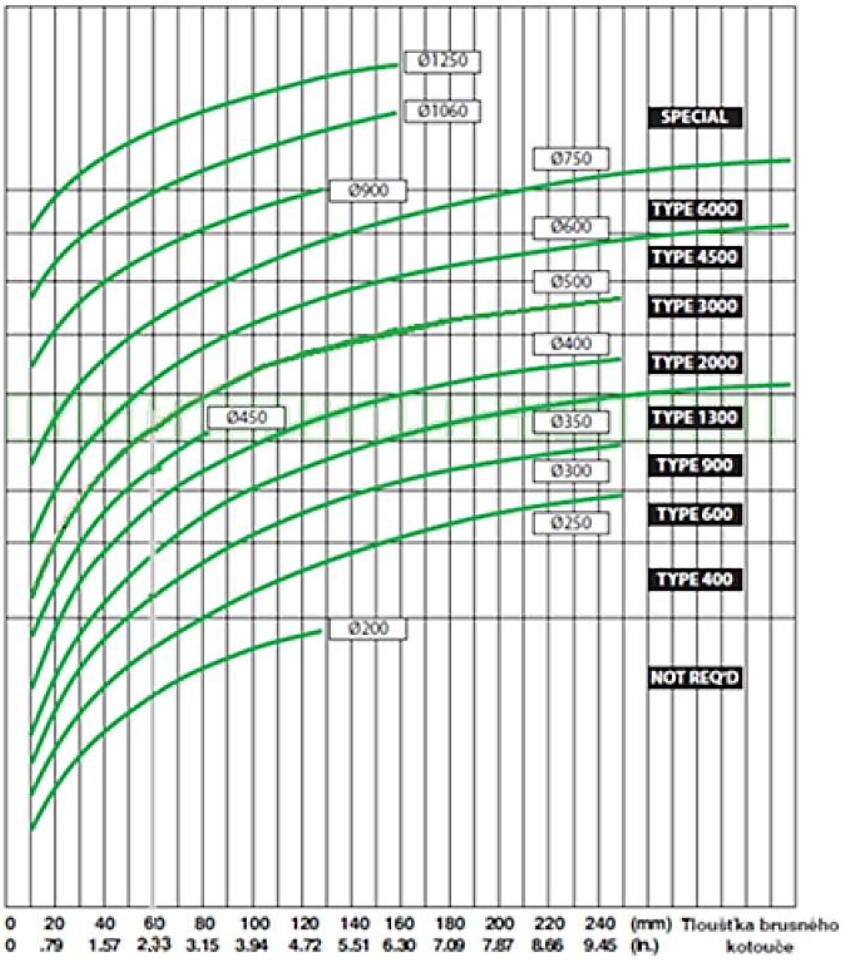
Obr. 61: Ukázka přírubových a vkládaných hlav s příslušenstvím [15]

Pro konstrukci této brousicí hlavy byla vybrána vyvažovací hlava STCG s bezkontaktním pohonem a integrovaným akustickým spínačem pro kontrolu brusných kotoučů. Jedná se o typ vkládaný do vřetene stroje. Tato hlava se vyznačuje bezúdržbovým provozem a jednoduchou montáží, splňuje také požadavky na plynulé automatické vyvažování s maximální citlivostí a dobou odezvy. Integrovaný širokopásmový snímač zaručuje odezvu pro dojíždění na jiskru, orovnávání a při kolizi brusných kotoučů.



Obr. 62: Schéma vyvažovací hlavy [15]

Vhodný typ hlavy se určuje z diagramu pro definici vyvažovacího výkonu od výrobce. Pro konvenční kotouče závisí model kotouče na vnějším průměru a tloušťce brusného kotouče. V případě brusky BSMT je průměr kotouče 900 mm a tloušťka 80 mm. Těmto parametrům odpovídá vyvažovací výkon 6000 cgm. [15]



Obr. 63: Diagram pro definici vyvažovacího výkonu [15]

L (mm) / Ø (mm)	104		119		134		149		194		254	
	Max. rpm	*C (gcm)*	*Max. rpm*	*C (gcm)*	*Max. rpm*	*C (gcm)*	*Max. rpm*	*C (gcm)*	*Max. rpm*	*C (gcm)*	*Max. rpm*	*C (gcm)*
42	6.500	400	5.900	500	5.400	600	5.000	700	4.400	900	3.500	1.400
50	4.600	810	4.200	1.000	3.800	1.180	3.600	1.360	3.200	1.730	2.600	2.650
60	3.800	1.190	3.400	1.500	3.100	1.810	2.800	2.120	2.500	2.730	2.000	4.280
70	2.600	2.530	2.300	3.130	2.200	3.730	2.000	4.330	1.800	5.530	1.400	8.520
81	2.100	3.850	1.900	4.840	1.700	5.840	1.600	6.830	1.400	8.820	1.100	13.800

Obr. 64: Modely vyvažovací hlavy [15]

Podle této hodnoty byl vybrán z nabídky model splňující výkonové požadavky. V daném případě se jedná o model STCG s průměrem 81 mm a délkou L 149 mm. Elektricky je zařízení připojeno k řídicímu systému přes konektor příruby.

6. Závěr

6.1. Technicko-ekonomické hodnocení

Cílem práce bylo konstrukční řešení brousicí hlavy BSMT1 pro multifunkční stroj S – MT. Hlava se upíná ke stroji pomocí univerzální příruby multitask. Brusný kotouč je poháněn pohonem stroje. Parametry převodového ústrojí jsou dány charakteristickou brousicí operace a možnostmi motoru. Při řešení byl kladen důraz na použití standardních typů ložisek a spojovacích součástí.

Úvod práce krátce shrnuje historii výroby obráběcích strojů ve Škodových závodech v Plzni. V další kapitole byla představena nabídka zadavatele, firmy ŠMT a.s. Vlastní úloha začíná výpočtem požadovaných vlastností stroje ze zadané charakteristiky broušení. Dále je popsán postup návrhu převodového mechanismu pomocí programů KISSsys a KISSsoft. Byly použity pro výpočet bezpečností soukolí a k pevnostní kontrole hřídelů v daných zatěžovacích stavech. Dále byla také navržena ložiska vzhledem k jejich zatížení, životnosti a tepelně stabilním otáčkám. V neposlední řadě byl stejný program použit pro návrh řemenového převodu, otáčecího mechanismu a kontrole šroubů. Návrh napínací kladky a kontrola řemenového převodu byly provedeny v programu MITcalc.

Dalším krokem byl import designu do prostředí CAD programu Siemens NX. Následně byla celá konstrukce domodelována a doplněna všemi důležitými součástmi. Po vyřešení konstrukce byl proveden tuhostní MKP výpočet. Výsledná tuhost byla porovnána s tabulkovou hodnotou. Dále byl proveden výpočet vlastních kmitů. Získané frekvence byly porovnány s budícími frekvencemi a s frekvencemi zubových záběrů. Do zařízení byla vybrána vhodná vyvažovací hlava od firmy Marposs.

V závěru práce byl popsán postup návrhu řešení a vypracována výrobní dokumentace. Obdobná zařízení je možné vyrobit za 1,5 až 1,75 milionu Kč. Lze proto očekávat, že se cena výroby bude pohybovat v těchto mezích. Celý obráběcí stroj bez příslušenství stojí okolo 30 milionů Kč. Užitím brousicí hlavy se zvýší cena daného pracoviště o cca 6%. To znamená, že nedojde k výraznému zvýšení odpisů stroje a tím i k nárůstu nákladů na obrábění. Vyšší cena bude vykompenzována přínosem zařízení, které sníží náklady na brousicí operace prováděné v obráběcím centru ve srovnání s broušením na speciální brusce. Dalším přínosem je zkrácení času výroby vyplývající z redukce manipulačních časů (doprava, prostoje, upínání).

6.2. Tabulka technických parametrů

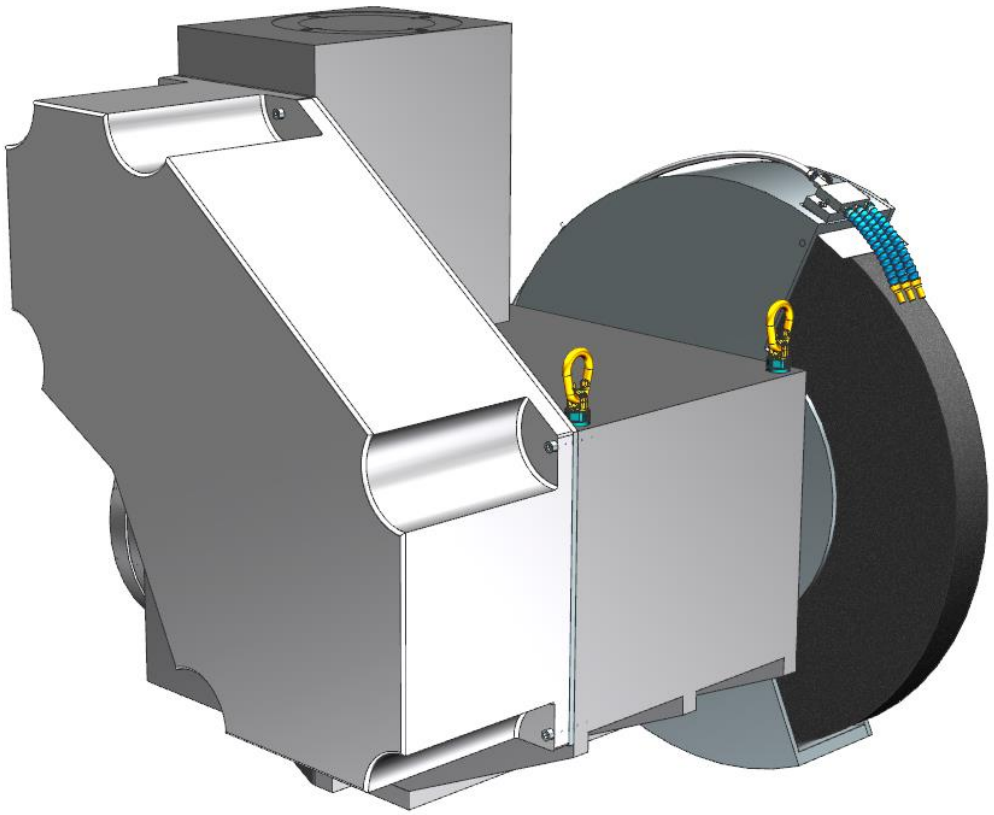
V následující tabulce jsou uvedeny základní parametry výsledného zařízení.

Tab. 20: Tabulka technických parametrů

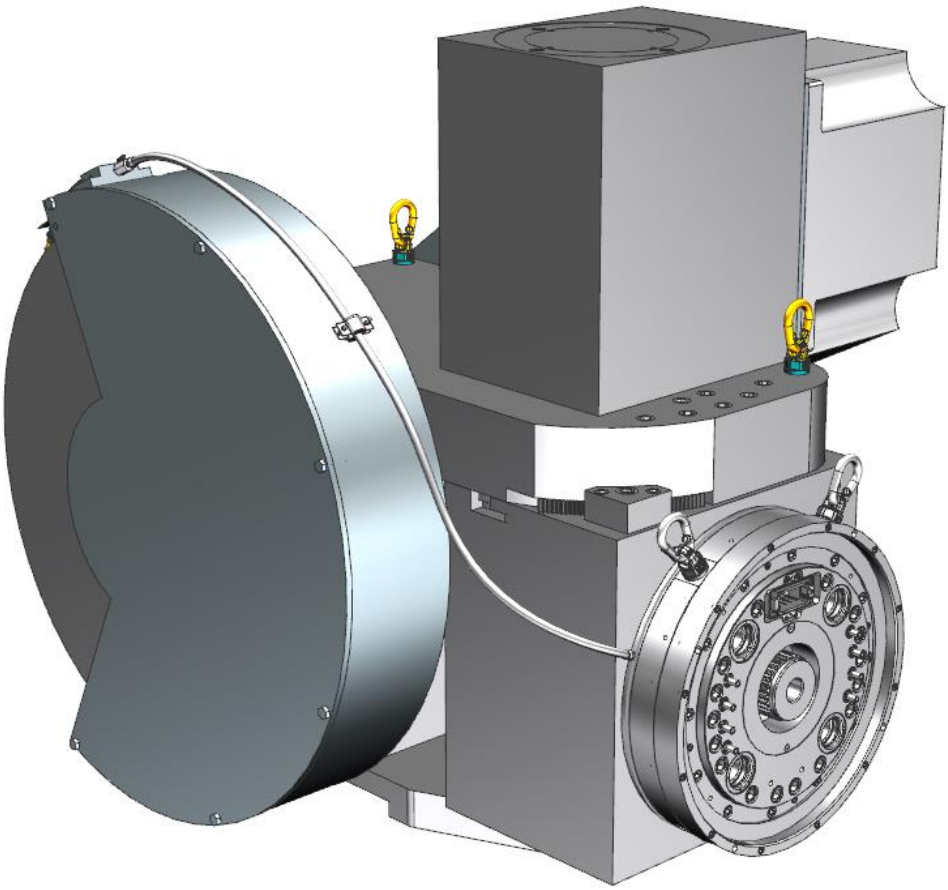
	Jednotky	Hodnota
Průměr brousicího kotouče	mm	900
Šířka brousicího kotouče	mm	80
Max. hloubka zápichu	mm	260
Max. výkon	kW	50 - 80
Max. moment	Nm	1000
Max. otáčky kotouče	1/min	1000
Natočení hlavy kolem svislé osy – natáčení	°	±20
Automatické vyvažování kotouče	Marposs – STCG uvnitř vřetene	

Max. průměr obrobku	mm	765
Materiál obrobku	ČSN 12050(C45)	
Připojení brusky na stroj S – MT	Příruba smykadla	
Hlavní pohon brusky	Vřeteno stroje	
Životnost	hod	4000
Chlazení brousicího kotouče	Tryskami na krytu kotouče – emulze oleje 1-5% a vody	
Maximální výkon frézovacího vřeteníku (varianta s vyšším výkonem)	kW	80
Maximální výkon frézovacího vřeteníku (varianta s nižším výkonem)	kW	64
Maximální moment	Nm	4500
Maximální otáčky vřeteníku (varianta s vyšším výkonem)	ot/min	3000
Maximální otáčky vřeteníku (varianta s nižším výkonem)	ot/min	3500
Mazání ozubení a ložisek		tuk
Střední teplota ložisek	°C	60
Převodový poměr mechanismu		1:1
Celková tuhost hlavy	kN/mm	139

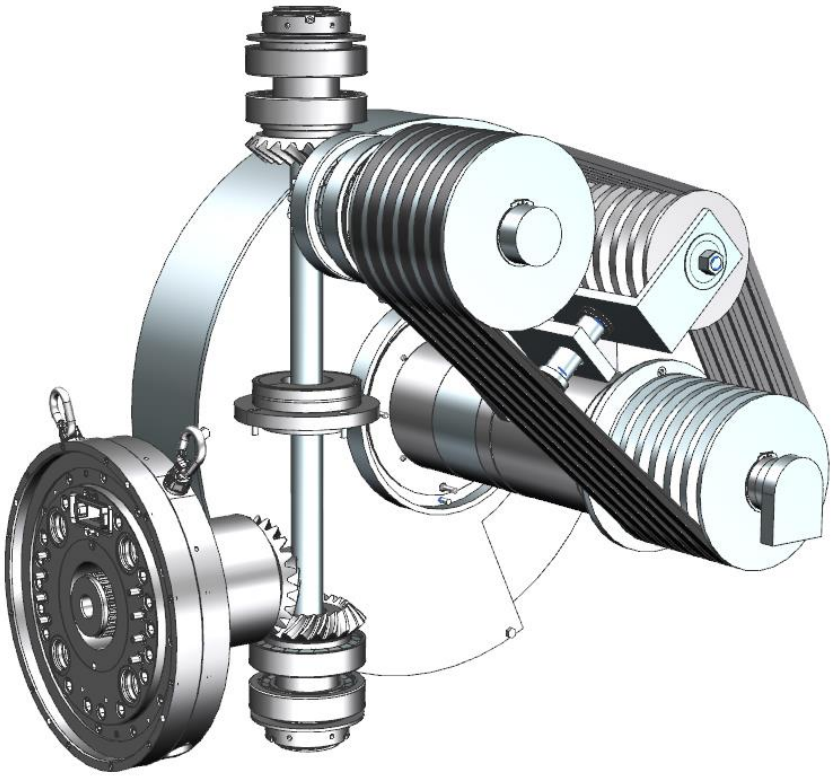
6.3. Náčrt 3D, 2D



Obr. 65: Model zařízení – pohled 1



Obr. 66: Model zařízení – pohled 2



Obr. 67: Odkrytované zařízení

Seznam použitých zdrojů

[1] Historie. https://www.skoda.cz/historie/. skoda.cz (5. 5. 2021).
[2] O společnosti. smt.cz. https://www.cz-smt.cz/cs/spolecnost/kdo-jsme (5. 5. 2021).
[3] Produkty. SMT.cz. https://www.cz-smt.cz/cs/ (3. 5. 2021).
[4] BARTOŇOVÁ, R. Technologie broušení - elektronická učebnice. 2012.
[5] ČEP, R., PETRŮ, J. Technologie obrábění, broušení a dokončovací operace obrábění. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3012-4
[6] DYNOMAX Book of spindles - Spindle component facts and engineering data.
[7] CONTINENTAL AG Řemeny a komponenty. Hannover, 2014.
[8] DIVEDI, H. K. Basic principle of grinding. hkdivedi.com. https://www.hkdivedi.com/2015/12/basic-principle-of-grinding.html (3. 5. 2021).
[9] ČVUT Sborník Trendy po EMO Hannover. 1st ed. Praha, 2019.
[10] SCHÄFER, G., et al. FAG Wälzlager in Werkzeugmaschinen.
[11] HUDEC, Z. Konstrukce obráběcích strojů – podklady k přednáškám.
[12] LAŠOVÁ, V. Základy stavby výrobních strojů – podklady k přednáškám.
[13] LAŠOVÁ, V. Metoda konečných prvků ve výpočtech obráběcích strojů. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2011. ISBN 978-80-261-0008-9.
[14] MARPOSS Vyvažování. Aktivní kontrola vibrací na bruskách. 2006.
[15] MARPOSS Vyvažovací hlavy. 2005.
[16] Němejc, J.; Metodika zpracování a úprava diplomových prací, 2st ed.; Západočeská univerzita v Plzni, Vydavatelství: Plzeň, 2000.

PŘÍLOHA č. 1

Zpráva výpočtu sestavy z programu KISSsys

KISSsoft Release 2020 A.1

KISSsoft – student license (not for commercial use)

File

Name : Unnamed
Changed by: Uzivatel on: 07.05.2021 at: 19:41:16

bruska_bsmt1_e2_oprava

Power inputs:

_O.Boundary1

Speed	[1/min]	636.62
Torque	[Nm]	761.979
Power	[kW]	50.799

Power outputs:

_O.Boundary2

Speed	[1/min]	-636.62
Torque	[Nm]	702.24
Power	[kW]	46.816

Calculations:

_O.GroupBox.Belt_const1.VBelt_calc1
_O.GroupBox.sh2_kolo1_2_sh.Con_kolo1_sh7.InterFit_calc1
_O.GroupBox.sh2_kolo1_2_sh.Con_kolo2_sh7.FeatherKey_calc3
_O.GroupBox.sh2_kolo1_2_sh.sh2_kolo1_2_sh_calc
_O.GroupBox.sh3_kolo_sh.sh3_kolo_sh_calc
_O.GroupBox.sh_kolo_sh4.Con_ko_sh4.FeatherKey_calc4
_O.GroupBox.sh_kolo_sh4.sh_kolo_sh4_calc
_O.GroupBox.vret_trn_kolo2.Con_ko2_vret.FeatherKey_calc1
_O.GroupBox.vret_trn_kolo2.vret_trn_kolo2_calc
_O.GroupBox.z2_z1.z2_z1_calc
_O.GroupBox.z4_z3.z4_z3_calc

_O.GroupBox.Belt_const1.VBelt_calc1

V-Belt calculation

Basis:		According to manufacturer data		
V-belt				
Type		XPC-High-performance v-belt-DIN 7753:1988/ISO 4184:1992-(CONTI-FO-Z)		
Length (mm)	[l]	2183.19		
Number of belts	[neff]	6		
Sheave width (mm)	[b]	161.50		
Nominal power (kW)	[Pn]	46.82		
Effective diameter (mm)	[dwk]	265.00		265.00
Service torque (Nm)	[T]	702.29		702.29
Center distance (mm)	[a]	675.333		
Nominal power acc. catalogue (kW)	[P]	15.266		
Pretension according to catalog values				
Critical speed for no load / load (m/s)	[vcrit]	25.98	/	55.34
Tension distance (mm)	[sw]	2.70		
Pretension according to calculation with coefficient of friction (min: values)				
Calculation according to Niemann, Book III, with rope friction law				
Critical speed for no load / load (m/s)	[vcrit]	10.38	/	49.95
Tension distance (mm)	[sw]	1.88		
Utilization: (%)	[A]	59.43		
Formula:		A = belt.nth / belt.neff * 100		

_O.GroupBox.sh2_kolo1_2_sh.Con_kolo1_sh7.InterFit_calc1

Cylindrical interference fit

Calculation method: According to DIN 7190-1:2017, elastic range
with additions such as centrifugal force, micro sliding, mounting, etc.
for a horizontal or longitudinal interference fit

Diameter shaft (mm)	[DiA]/[DiI]	50.00	/ 0.00
Diameter hub (mm)	[DaA]/[DaI]	90.00	/ 50.00
Length of Interference fit (mm)	[l]	5.00	
Diameter of joint (mm)	[DF]	50.00	
Tolerance Shaft		s5	
Tolerance hub		H6	
Service torque (Nm)	[Tb]	731.50	
Axial force (N)	[FA]	0.00	
Bending moment (Nm)	[Mb]	0.00	

Radial force (N)	[Fr]	0.00	
Circumferential force (N)	[Fu]	29260.00	
Speed (1/min)	[n]	636.62	
Safety against sliding	[Sr]	0.14	(0.09 .. 0.19)
Required safety against sliding	[SSr]	1.00	
Equivalent stress according to von Mises			
Hub mean external pressure (N/mm²)	[pam]	0.00	
Hub minimum external pressure (N/mm²)	[pamin]	0.00	
Hub maximum external pressure (N/mm²)	[pamax]	0.00	
Shaft			
Material	C45 (1)		
Safety against fracture	[SiRm]	12.07	(19.11 .. 8.82)
Required safety against fracture	[SSi.Rm]	1.50	
Safety against yield point	[Si.Rp]	7.09	(11.22 .. 5.18)
Required safety against yield point	[SSi.Rp]	1.00	
Hub			
Material	C45 (1)		
Safety against fracture	[Si.Rm]	4.89	(7.74 .. 3.58)
Required safety against fracture	[SSi.Rm]	1.50	
Safety against yield point	[Si.Re]	3.24	(5.12 .. 2.37)
Required safety against yield point	[SSi.Re]		

1.00_O.GroupBox.sh2_kolo1_2_sh.Con_kolo2_sh7.FeatherKey_calc3

Key

Calculation method: DIN 6892-C:2012		
Key width (mm)	[b]	14.00
Key height (mm)	[h]	9.00
Shaft diameter (mm)	[d]	50.00
Nominal torque (Nm)	[Tn]	731.50
Maximum torque (Nm)	[Tmax]	1646.02
Minimal frictional torque for interference fit (Nm)	[TRmin]	0.00
Number of load peaks	[NL]	1000
Number of keys	[i]	1
Load factor	[phi]	1.00
Shaft		
Material	E335 (St60.2)	
Permissible surface pressure (N/mm²)	[pzul]	283.50
Minimal safety	[SF]	0.11
Hub		
Material	C45 (1)	
Permissible surface pressure (N/mm²)	[pzul]	387.00
Minimal safety	[SF]	0.15
Key		
Material	E335 (St60.2)	
Permissible surface pressure (N/mm²)	[pzul]	301.50
Minimal safety	[SF]	0.12

Remarks:
Safety = Minimum (pzul/peq, fL*pzul/pmax)
Condition according to DIN 6892 Safety >= 1.0
Supporting key height: h - t1

_O.GroupBox.sh2_kolo1_2_sh.sh2_kolo1_2_sh_calc

Analysis of shafts, axle and beams

Label	Shaft7	
Drawing		
Initial position (mm)		33.000
Length (mm)		1005.000
Speed (1/min)		636.62
Direction of rotation:	clockwise	
Material	C45 (1)	
Label	kolo1	
Drawing		
Initial position (mm)		855.000
Length (mm)		177.000
Speed (1/min)		636.62
Direction of rotation:	clockwise	
Material	C45 (1)	
Label	kolo2	
Drawing		
Initial position (mm)		37.300
Length (mm)		177.000
Speed (1/min)		636.62
Direction of rotation:	clockwise	

Material		C45 (1)			
Label		pouzdro1			
Drawing					
Initial position (mm)				0.000	
Length (mm)				200.000	
Speed (1/min)				0.00	
Direction of rotation:		clockwise			
Material		C45 (1)			
Label		pouzdro2			
Drawing					
Initial position (mm)				485.000	
Length (mm)				65.000	
Speed (1/min)				0.00	
Direction of rotation:		clockwise			
Material		C45 (1)			
Type of force element				**Bevel gear**	
Position on shaft (mm)	$[y_{local}]$			12.0000	
Type of force element				**Bevel gear**	
Position on shaft (mm)	$[y_{local}]$			164.9000	
Rolling bearing rating life according to ISO/TS 16281:2008					
Shaft 'kolo1' Rolling bearing 'RollerBearing7'					
Dynamic equivalent load	[P]	15.06	kN		
Static equivalent load	$[P_0]$			15.06	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	$[h_{min}]$			0.000	µm
Results according to ISO 281:					
Basic bearing rating life	$[L_{nh}]$			1.3449e+06	h
Static safety factor	$[S_0]$			29.21	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	$[L_{nrh}]$			3.3119e+06	h
Effective static safety factor	$[S_{0w}]$			16.14	
Static safety factor	$[S_{0ref}]$			23.87	
Static equivalent load	$[P_{0ref}]$			18.44	kN
Shaft 'kolo1' Rolling bearing 'RollerBearing8'					
Dynamic equivalent load	[P]	10.13	kN		
Static equivalent load	$[P_0]$			6.57	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	$[h_{min}]$			0.000	µm
Results according to ISO 281:					
Basic bearing rating life	$[L_{nh}]$			5.0421e+06	h
Static safety factor	$[S_0]$			66.93	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	$[L_{nrh}]$			1.7548e+07	h
Effective static safety factor	$[S_{0w}]$			31.00	
Static safety factor	$[S_{0ref}]$			58.89	
Static equivalent load	$[P_{0ref}]$			7.47	kN
Shaft 'kolo2' Rolling bearing 'RollerBearing10'					
Dynamic equivalent load	[P]	17.15	kN		
Static equivalent load	$[P_0]$			13.22	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	$[h_{min}]$			0.000	µm
Results according to ISO 281:					
Basic bearing rating life	$[L_{nh}]$			8.7300e+05	h
Static safety factor	$[S_0]$			33.28	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	$[L_{nrh}]$			3.3466e+06	h
Effective static safety factor	$[S_{0w}]$			18.70	
Static safety factor	$[S_{0ref}]$			29.17	
Static equivalent load	$[P_{0ref}]$			15.09	kN
Shaft 'kolo2' Rolling bearing 'RollerBearing9'					
Dynamic equivalent load	[P]	4.57	kN		
Static equivalent load	$[P_0]$			4.57	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	$[h_{min}]$			0.000	µm
Results according to ISO 281:					
Basic bearing rating life	$[L_{nh}]$			7.1693e+07	h
Static safety factor	$[S_0]$			96.30	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	$[L_{nrh}]$			1.2008e+08	h
Effective static safety factor	$[S_{0w}]$			35.60	
Static safety factor	$[S_{0ref}]$			71.23	
Static equivalent load	$[P_{0ref}]$			6.18	kN
Shaft 'pouzdro1' Rolling bearing 'RollerBearing13'					
Dynamic equivalent load	[P]	0.00	kN		
Static equivalent load	$[P_0]$			0.00	kN

Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Results according to ISO 281:					
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			1.0000e+10	h
Static safety factor	[S_0]			9999.99	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			135.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			1.0000e+06	h
Modified reference rating life	[L_{nrmh}]			1.0000e+06	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			13.85	
Static safety factor	[S_{0ref}]			20.29	
Static equivalent load	[P_{0ref}]			35.00	kN
Shaft 'pouzdro2' Rolling bearing 'RollerBearing14'					
Dynamic equivalent load	[P]	0.00	kN		
Static equivalent load	[P_0]			0.00	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Results according to ISO 281:					
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			1.0000e+10	h
Static safety factor	[S_0]			9999.99	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			95.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			1.0000e+06	h
Modified reference rating life	[L_{nrmh}]			1.0000e+06	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			2399.33	
Static safety factor	[S_{0ref}]			9999.99	
Static equivalent load	[P_{0ref}]			0.00	kN

Bearing 'Con_kolo1_sh7'
Bearing 'Con_kolo2_sh7'

Strength calculation according to DIN 743:2012

Summary
Shaft7

Material	C45 (1)
Material type	Through hardened steel
Material treatment	unalloyed, through hardened
Surface treatment	No

Calculation of endurance limit and the static strength
Calculation for load case 2 (σav/σmv = const)
Results:

Cross section	βσ	KFσ	K2d	SD	SS
Free cross section	1.00	0.90	0.87	6.00	5.47
Required safeties:				1.20	1.20

_O.GroupBox.sh3_kolo_sh.sh3_kolo_sh_calc

Analysis of shafts, axle and beams

Label		Shaft10			
Drawing					
Initial position (mm)				40.000	
Length (mm)				280.000	
Speed (1/min)				636.62	
Direction of rotation:			clockwise		
Material		C45 (1)			
Label		kolo			
Drawing					
Initial position (mm)				60.000	
Length (mm)				185.000	
Speed (1/min)				636.62	
Direction of rotation:			clockwise		
Material		C45 (1)			
Type of force element				**Coupling**	
Position on shaft (mm)	[y_{local}]			275.0000	
Type of force element				**Bevel gear**	
Position on shaft (mm)	[y_{local}]			12.8000	

Rolling bearing rating life according to ISO/TS 16281:2008

Shaft 'kolo' Rolling bearing 'RollerBearing11'					
Dynamic equivalent load	[P]	16.01	kN		
Static equivalent load	[P_0]			16.01	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Results according to ISO 281:					
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			1.0971e+06	h
Static safety factor	[S_0]			27.48	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			2.7619e+06	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			15.53	
Static safety factor	[S_{0ref}]			22.64	

Static equivalent load	[P_{0ref}]			19.43	kN
Shaft 'kolo' Rolling bearing 'RollerBearing12'					
Dynamic equivalent load	[P]	10.45	kN		
Static equivalent load	[P_0]			6.82	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Results according to ISO 281:					
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			4.5489e+06	h
Static safety factor	[S_0]			64.49	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			1.6082e+07	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			30.23	
Static safety factor	[S_{0ref}]			56.78	
Static equivalent load	[P_{0ref}]			7.75	kN

Bearing 'Con_kolo_sh10'

Strength calculation according to DIN 743:2012

Summary
Shaft10

Material	C45 (1)
Material type	Through hardened steel
Material treatment	unalloyed, through hardened
Surface treatment	No

Calculation of endurance limit and the static strength
Calculation for load case 2 (σav/σmv = const)
Results:

Cross section	βσ	KFσ	K2d	SD	SS
Free cross section	1.00	0.90	0.87	7.64	5.26
Required safeties:				1.20	1.20

_O.GroupBox.sh_kolo_sh4.Con_ko_sh4.FeatherKey_calc4

Key

Calculation method:	DIN 6892-C:2012		
Key width (mm)	[b]	20.00	
Key height (mm)	[h]	12.00	
Shaft diameter (mm)	[d]	70.00	
Nominal torque (Nm)	[Tn]	702.24	
Maximum torque (Nm)	[Tmax]	1580.17	
Minimal frictional torque for interference fit (Nm)	[TRmin]	0.00	
Number of load peaks	[NL]	1000	
Number of keys	[i]	1	
Load factor	[phi]	1.00	
Shaft			
Material	C45 (1)		
Permissible surface pressure (N/mm²)	[pzul]	333.00	
Minimal safety	[SF]	0.25	
Hub			
Material	C45 (1)		
Permissible surface pressure (N/mm²)	[pzul]	387.00	
Minimal safety	[SF]	0.29	
Key			
Material	C45 (1)		
Permissible surface pressure (N/mm²)	[pzul]	441.00	
Minimal safety	[SF]	0.33	

Remarks:
Safety = Minimum (pzul/peq, fL*pzul/pmax)
Condition according to DIN 6892 Safety >= 1.0

Supporting key height: h - t1

_O.GroupBox.sh_kolo_sh4.sh_kolo_sh4_calc

Analysis of shafts, axle and beams

Label	Shaft4		
Drawing			
Initial position (mm)		46.000	
Length (mm)		400.000	
Speed (1/min)		636.62	
Direction of rotation:	counterclockwise		
Material	C45 (1)		
Label	kolo		
Drawing			
Initial position (mm)		61.000	
Length (mm)		177.000	
Speed (1/min)		636.62	
Direction of rotation:	counterclockwise		
Material	C45 (1)		

Type of force element				**Rope sheave**	
Position on shaft (mm)	[y_{local}]			309.0000	
Type of force element				**Bevel gear**	
Position on shaft (mm)	[y_{local}]			11.8000	
Rolling bearing rating life according to ISO/TS 16281:2008					
Shaft 'kolo' Rolling bearing 'RollerBearing5'					
Dynamic equivalent load	[P]	25.64	kN		
Static equivalent load	[P_0]			17.65	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Results according to ISO 281:					
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			3.1862e+05	h
Static safety factor	[S_0]			27.76	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			1.2524e+06	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			15.60	
Static safety factor	[S_{0ref}]			23.59	
Static equivalent load	[P_{0ref}]			20.77	kN
Shaft 'kolo' Rolling bearing 'RollerBearing6'					
Dynamic equivalent load	[P]	18.57	kN		
Static equivalent load	[P_0]			18.57	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Results according to ISO 281:					
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			9.3388e+05	h
Static safety factor	[S_0]			26.39	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			1.8438e+06	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			13.83	
Static safety factor	[S_{0ref}]			20.01	
Static equivalent load	[P_{0ref}]			24.49	kN

Bearing 'Con_ko_sh4'

_O.GroupBox.vret_trn_kolo2.Con_ko2_vret.FeatherKey_calc1

Key

Calculation method: DIN 6892-C:2012

Key width (mm)	[b]	25.00
Key height (mm)	[h]	14.00
Shaft diameter (mm)	[d]	90.00
Nominal torque (Nm)	[Tn]	702.24
Maximum torque (Nm)	[Tmax]	1900.00
Minimal frictional torque for interference fit (Nm)	[TRmin]	0.00
Number of load peaks	[NL]	1000
Number of keys	[i]	1
Load factor	[phi]	1.00
Shaft		
Material	C45 (1)	
Permissible surface pressure (N/mm²)	[pzul]	333.00
Minimal safety	[SF]	0.30
Hub		
Material	C45 (1)	
Permissible surface pressure (N/mm²)	[pzul]	387.00
Minimal safety	[SF]	0.34
Key		
Material	C45 (1)	
Permissible surface pressure (N/mm²)	[pzul]	441.00
Minimal safety	[SF]	0.39

Remarks:
Safety = Minimum (pzul/peq, fL*pzul/pmax)
Condition according to DIN 6892 Safety >= 1.0
Supporting key height: h - t1

_O.GroupBox.vret_trn_kolo2.vret_trn_kolo2_calc

Analysis of shafts, axle and beams

Label	brus_kot	
Drawing		
Initial position (mm)		-72.000
Length (mm)		80.000
Speed (1/min)		636.62
Direction of rotation:	counterclockwise	
Material	C45 (1)	
Label	kolo2	
Drawing		

Initial position (mm)				290.000	
Length (mm)				467.000	
Speed (1/min)				636.62	
Direction of rotation:			counterclockwise		
Material		C45 (1)			
Label		trn			
Drawing					
Initial position (mm)				-100.000	
Length (mm)				130.000	
Speed (1/min)				636.62	
Direction of rotation:			counterclockwise		
Material		C45 (1)			
Label		vreteno			
Drawing					
Initial position (mm)				-85.000	
Length (mm)				842.000	
Speed (1/min)				636.62	
Direction of rotation:			counterclockwise		
Material		C45 (1)			
Type of force element				**Coupling**	
Position on shaft (mm)	$[y_{local}]$			25.0000	
Type of force element				**Eccentric force**	
Position on shaft (mm)	$[y_{local}]$			40.0000	
Type of force element				**Centric force**	
Position on shaft (mm)	$[y_{local}]$			40.0000	
Type of force element				**Rope sheave**	
Position on shaft (mm)	$[y_{local}]$			356.0000	
Rolling bearing rating life according to ISO/TS 16281:2008					
Shaft 'kolo2' Rolling bearing 'RollerBearing15'					
Dynamic equivalent load	[P]	7.13	kN		
Static equivalent load	$[P_0]$			3.51	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	$[h_{min}]$			0.000	µm
Spin to roll ratio	[ω_s/ω_roll]	0.204			
Results according to ISO 281:					
Basic bearing rating life	$[L_{nh}]$			4.6479e+05	h
Static safety factor	$[S_0]$			54.92	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	$[L_{nrh}]$			8.9976e+05	h
Effective static safety factor	$[S_{0w}]$			59.39	
Static safety factor	$[S_{0ref}]$			34.06	
Static equivalent load	$[P_{0ref}]$			5.67	kN
Shaft 'kolo2' Rolling bearing 'RollerBearing16'					
Dynamic equivalent load	[P]	10.04	kN		
Static equivalent load	$[P_0]$			9.09	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	$[h_{min}]$			0.000	µm
Spin to roll ratio	[ω_s/ω_roll]	0.203			
Results according to ISO 281:					
Basic bearing rating life	$[L_{nh}]$			1.6628e+05	h
Static safety factor	$[S_0]$			21.22	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	$[L_{nrh}]$			2.2815e+05	h
Effective static safety factor	$[S_{0w}]$			26.37	
Static safety factor	$[S_{0ref}]$			15.16	
Static equivalent load	$[P_{0ref}]$			12.73	kN
Shaft 'vreteno' Rolling bearing 'RollerBearing3'					
Dynamic equivalent load	[P]	5.11	kN		
Static equivalent load	$[P_0]$			5.01	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	$[h_{min}]$			0.000	µm
Spin to roll ratio	[ω_s/ω_roll]	0.134			
Results according to ISO 281:					
Basic bearing rating life	$[L_{nh}]$			1.3463e+06	h
Static safety factor	$[S_0]$			36.51	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	$[L_{nrh}]$			1.5207e+06	h
Effective static safety factor	$[S_{0w}]$			45.56	
Static safety factor	$[S_{0ref}]$			32.05	
Static equivalent load	$[P_{0ref}]$			5.71	kN
Shaft 'vreteno' Rolling bearing 'RollerBearing8'					
Dynamic equivalent load	[P]	3.30	kN		
Static equivalent load	$[P_0]$			1.63	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	$[h_{min}]$			0.000	µm
Spin to roll ratio	[ω_s/ω_roll]	0.135			

Results according to ISO 281:

Basic bearing rating life	[L_{nh}]	5.0062e+06	h
Static safety factor	[S_0]	112.19	
Calculation with approximate bearings internal geometry			
Operating bearing clearance	[Pd]	0.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]	6.7327e+06	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]	105.28	
Static safety factor	[S_{0ref}]	73.86	
Static equivalent load	[P_{0ref}]	2.48	kN

Bearing 'Con_brus_trn'
Bearing 'Con_ko2_vret'
Bearing 'Con_trn_vret'

Strength calculation according to DIN 743:2012

Summary
brus_kot

Material	C45 (1)
Material type	Through hardened steel
Material treatment	unalloyed, through hardened
Surface treatment	No

Calculation of endurance limit and the static strength
Calculation for load case 2 (σav/σmv = const)
Results:

Cross section	βσ	KFσ	K2d	SD	SS
Free cross section	1.00	0.93	0.80	9999.99	9999.99
Required safeties:				1.20	1.20

_O.GroupBox.z2_z1.z2_z1_calc

Bevel gear calculation, bevel gear pair

Calculation method: Bevel gear DIN 3991:1988
Geometry calculation according to method: 0, ISO 23509:2016
Standard, fig 1 (Tip, Pitch and Root apex in one point)

Power (kW)	[P]	50.799	
Speed (1/min)	[n]	636.6	636.6
Torque (Nm)	[T]	762.0	762.0
Application factor	[KA]	1.25	
Required service life	[H]	1200.00	
Hypoid offset (mm)	[a]	0.000	
Mean normal module (mm)	[mmn]	5.7293	
Mean spiral angle (°)	[βm]	30.0000	
Number of teeth	[z]	22	22
Facewidth (mm)	[b]	36.00	36.00
Safety for tooth root stress	[SF=σFP/σF]	2.64	2.62
Safety factor for contact stress, σHP/σHB/D	[SH]	1.61	1.61
Required safety for tooth flank	[SHmin]	1.00	
System service life (h)	[Hatt]	> 1000000	

_O.GroupBox.z4_z3.z4_z3_calc

Bevel gear calculation, bevel gear pair

Calculation method: Bevel gear DIN 3991:1988
Geometry calculation according to method: 0, ISO 23509:2016
Standard, fig 1 (Tip, Pitch and Root apex in one point)

Power (kW)	[P]	48.767	
Speed (1/min)	[n]	636.6	636.6
Torque (Nm)	[T]	731.5	731.5
Application factor	[KA]	1.25	
Required service life	[H]	1200.00	
Hypoid offset (mm)	[a]	0.000	
Mean normal module (mm)	[mmn]	5.7293	
Mean spiral angle (°)	[βm]	30.0000	
Number of teeth	[z]	22	22
Facewidth (mm)	[b]	36.00	36.00
Safety for tooth root stress	[SF=σFP/σF]	2.73	2.72
Safety factor for contact stress, σHP/σHB/D	[SH]	1.64	1.64
Required safety for tooth flank	[SHmin]	1.00	
System service life (h)	[Hatt]	> 1000000	

PŘÍLOHA č. 2

Zpráva výpočtu hřídele 1 z programu KISSsoft

KISSsoft Release 2020 A.1

KISSsoft – student license (not for commercial use)

File

Name : Unnamed
Changed by: Uzivatel on: 07.05.2021 at: 19:44:22

Analysis of shafts, axle and beams

Input data

Coordinate system shaft:		see picture W-002	
Label		Shaft10	
Drawing			
Initial position (mm)			40.000
Length (mm)			280.000
Speed (1/min)			636.62
Direction of rotation:		clockwise	
Material		C45 (1)	
Young's modulus (N/mm²)			206000.000
Poisson's ratio nu			0.300
Density (kg/m³)			7830.000
Coefficient of thermal expansion	(10^-6/K)		11.500
Temperature (°C)			0.000
Weight of shaft (kg)			4.305
Weight of shaft, including additional masses (kg)			4.305
Mass moment of inertia (kg*mm²)			1345.240
Momentum of mass GD2 (Nm²)			0.053
Label		kolo	
Drawing			
Initial position (mm)			60.000
Length (mm)			185.000
Speed (1/min)			636.62
Direction of rotation:		clockwise	
Material		C45 (1)	
Young's modulus (N/mm²)			206000.000
Poisson's ratio nu			0.300
Density (kg/m³)			7830.000
Coefficient of thermal expansion	(10^-6/K)		11.500
Temperature (°C)			0.000
Weight of shaft (kg)			8.533
Weight of shaft, including additional masses (kg)			8.533
Mass moment of inertia (kg*m²)			0.013
Momentum of mass GD2 (Nm²)			0.523
Position in space (°)			0.000
Consider deformations due to shearing			
Shear correction factor			1.100
Rolling bearing stiffness is calculated from inner bearing geometry			
Tolerance field:		Mean value	
Reference temperature (°C)			20.000

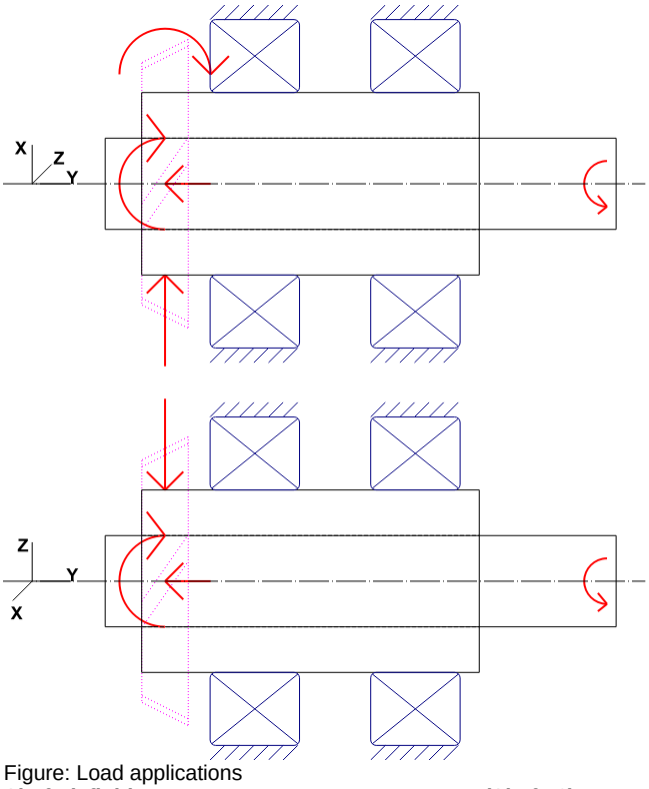


Figure: Load applications

Shaft definition **(Shaft10)**

Outer contour				
Cylinder (Cylinder)			**0.000 mm ... 280.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]		50.0000	
Length (mm)	[l]		280.0000	
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000	
Forces				
Type of force element			**Coupling**	
Label in the model			Coupling2(Boundary1)	
Position on shaft (mm)		[y_{local}]	275.0000	
Position in global system (mm)		[y_{global}]	315.0000	
Effective diameter (mm)			30.0000	
Radial force factor (-)			0.0000	
Direction of the radial force (°)			0.0000	
Axial force factor (-)			0.0000	
Length of load application (mm)			10.0000	
Power (kW)			50.7986	driven (input)
Torque (Nm)			761.9790	
Axial force (N)			0.0000	
Shearing force X (N)			0.0000	
Shearing force Z (N)			0.0000	
Bending moment X (Nm)			0.0000	
Bending moment Z (Nm)			0.0000	
Mass (kg)			0.0000	
Mass moment of inertia Jp (kg*m²)			0.0000	
Mass moment of inertia Jxx (kg*m²)			0.0000	
Mass moment of inertia Jzz (kg*m²)			0.0000	
Eccentricity (mm)			0.0000	
Shaft definition		**(kolo)**		
Outer contour				
Cylinder (Cylinder)			**0.000 mm ... 185.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]		100.0000	
Length (mm)	[l]		185.0000	
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000	
Inner contour				
Cylindrical bore (Cylindrical bore)		**0.000 mm ... 185.000 mm**		
Diameter (mm)	[d]		50.0000	
Length (mm)	[l]		185.0000	
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000	
Forces				
Type of force element			**Bevel gear**	
Label in the model			z1(z2_z1)	
Position on shaft (mm)		[y_{local}]	12.8000	
Position in global system (mm)		[y_{global}]	72.8000	
Operating pitch diameter (mm)			145.5443	
Helix angle (°)			30.0000	Double helical gearing, left-right
Pitch angle (°)			45.0000	Tip to the left
Working pressure angle at normal section (°)			20.0000	
Position of contact (°)			180.0000	
Facewidth (mm)			36.0000	
Power (kW)			50.7986	driving (output)
Torque (Nm)			-761.9792	
Axial force (N)			-1162.9640	
Shearing force X (N)			7386.3710	
Shearing force Z (N)			-10470.7542	
Bending moment X (Nm)			0.0000	
Bending moment Z (Nm)			84.6314	
Bearing				

Label in the model			RollerBearing11	
Bearing type			SKF 32220	
Bearing type			Taper roller bearing (single row) SKF Explorer	
Bearing position (mm)		[y_{lokal}]	62.000	
Bearing position (mm)		[y_{global}]	122.000	
Attachment of external ring			Set fixed bearing right	
Inner diameter (mm)		[d]	100.000	
External diameter (mm)		[D]	180.000	
Width (mm)		[b]	49.000	
Corner radius (mm)		[r]	3.000	
Number of rolling bodies		[Z]	20	
Rolling body reference circle (mm)		[D_{pw}]	139.014	
Diameter rolling body (mm)		[D_w]	21.770	
Rolling body length (mm)		[L_{we}]	28.121	
Distance a (mm)		[a]	40.981	

Diameter, external race (mm)	[d_o]		160.155
Diameter, internal race (mm)	[d_i]		117.873
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
)			
			45.5
190			
Basic static load rating (kN)	[C_0]		440.000
Basic dynamic load rating (kN)	[C]		390.000
Fatigue load limit (kN)	[C_u]		48.000
Values for approximated geometry:			
Basic dynamic load rating (kN)	[C_{theo}]		326.172
Basic static load rating (kN)	[C_{0theo}]		440.000
Correction factor Basic dynamic load rating			
	[f_C]		1.000
Correction factor Basic static load rating			
	[f_{C0}]		1.000

Label in the model		RollerBearing12	
Bearing type		SKF 32220	
Bearing type		Taper roller bearing (single row) SKF Explorer	
Bearing position (mm)	[y_{lokal}]		150.000
Bearing position (mm)	[y_{global}]		210.000
Attachment of external ring		Set fixed bearing left	
Inner diameter (mm)	[d]		100.000
External diameter (mm)	[D]		180.000
Width (mm)	[b]		49.000
Corner radius (mm)	[r]		3.000
Number of rolling bodies	[Z]		20
Rolling body reference circle (mm)	[D_{pw}]		139.014
Diameter rolling body (mm)	[D_w]		21.770
Rolling body length (mm)	[L_{we}]		28.121
Distance a (mm)	[a]		40.981
Diameter, external race (mm)	[d_o]		160.155
Diameter, internal race (mm)	[d_i]		117.873
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
)			
			166.
4810			
Basic static load rating (kN)	[C_0]		440.000
Basic dynamic load rating (kN)	[C]		390.000
Fatigue load limit (kN)	[C_u]		48.000
Values for approximated geometry:			
Basic dynamic load rating (kN)	[C_{theo}]		326.172
Basic static load rating (kN)	[C_{0theo}]		440.000
Correction factor Basic dynamic load rating			
	[f_C]		1.000
Correction factor Basic static load rating			
	[f_{C0}]		1.000

CONNECTIONS

(Con_kolo_sh10) 108.000 mm

Degrees of freedom
X: fixedY: fixedZ: fixed
Rx: fixedRy: fixedRz: fixed

Results

Shaft

Maximum deflection 31.596 (µm) (Shaft10 pos = 40.000 mm)

Mass center of gravity	
Shaft10 (mm)	140.000
kolo (mm)	92.500
Total axial load	
Shaft10 (N)	0.000
kolo (N)	-1162.964
Torsion under torque	
Shaft10 (°)	0.186
kolo (°)	0.002

Bearing					
Probability of failure	[n]	10.00	%		
Axial clearance (ISO 281)	[u_A]			10.00	µm
Lubricant	ISOFLEX PDB 38 CX 1000				
Lubricant - service temperature	[T_B]			70.00	°C
Rolling bearing rating life according to ISO/TS 16281:2008					
Shaft 'kolo' Rolling bearing 'RollerBearing11'					
Position (Y-coordinate)	[y]	62.00	mm		
Dynamic equivalent load	[P]	16.01	kN		
Static equivalent load	[P_0]			16.01	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Life modification factor for reliability[a_1]				1.000	
Results according to ISO 281:					
Lubricant	ISOFLEX PDB 38 CX 1000				
Load ratio	[C/P]			24.360	
Operating viscosity	[v]			6.072	mm²/s
Reference viscosity	[v_1]			0.000	mm²/s
Viscosity ratio	[κ]			0.000	
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			1.0971e+06	h
Static safety factor	[S_0]			27.48	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			2.7619e+06	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			15.53	
Static safety factor	[S_{0ref}]			22.64	
Static equivalent load	[P_{0ref}]			19.43	kN
Bearing reaction force	[Fx]	-9.628	kN		
Bearing reaction force	[Fy]	-5.405	kN		
Bearing reaction force	[Fz]	12.791	kN		
Bearing reaction force	[Fr]	16.010	kN (126.97°)		
Bearing reaction moment	[Mx]	-266.52	Nm		
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm		
Bearing reaction moment	[Mz]	-200.70	Nm		
Bearing reaction moment	[Mr]	333.64	Nm (-143.02°)		
Oil level	[H]	0.000	mm		
Load-independent moment of friction	[M_0]			0.135	Nm
Load-dependent moment of friction	[M_1]			0.672	Nm
Moment of friction, cylindrical roller bearing[M_2]				0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 4000/IV T DE:1994					
Torque of friction	[M_{loss}]			0.808	Nm
Power loss	[P_{loss}]			53.838	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.					
The factors used to calculate the torque loss have been assumed for this bearing.					
Displacement of bearing	[u_x]			9.445	µm
Displacement of bearing	[u_y]			-8.101	µm
Displacement of bearing	[u_z]			-12.677	µm
Displacement of bearing	[u_r]			15.808	µm (-53.31°)
Misalignment of bearing	[r_x]			0.141	mrad (0.48')
Misalignment of bearing	[r_y]			-0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_z]			0.111	mrad (0.38')
Misalignment of bearing	[r_r]			0.179	mrad (0.62')
Shaft 'kolo' Rolling bearing 'RollerBearing12'					
Position (Y-coordinate)	[y]	150.00	mm		
Dynamic equivalent load	[P]	10.45	kN		
Static equivalent load	[P_0]			6.82	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Life modification factor for reliability[a_1]				1.000	
Results according to ISO 281:					
Lubricant	ISOFLEX PDB 38 CX 1000				
Load ratio	[C/P]			37.323	
Operating viscosity	[v]			6.072	mm²/s
Reference viscosity	[v_1]			0.000	mm²/s
Viscosity ratio	[κ]			0.000	
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			4.5489e+06	h
Static safety factor	[S_0]			64.49	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			1.6082e+07	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			30.23	
Static safety factor	[S_{0ref}]			56.78	
Static equivalent load	[P_{0ref}]			7.75	kN
Bearing reaction force	[Fx]	2.242	kN		
Bearing reaction force	[Fy]	6.567	kN		
Bearing reaction force	[Fz]	-2.195	kN		
Bearing reaction force	[Fr]	3.137	kN (-44.39°)		

Bearing reaction moment	[Mx]	-50.48	Nm		
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm		
Bearing reaction moment	[Mz]	-50.05	Nm		
Bearing reaction moment	[Mr]	71.08	Nm (-135.25°)		
Oil level	[H]	0.000	mm		
Load-independent moment of friction	[M_0]			0.135	Nm
Load-dependent moment of friction	[M_1]			0.132	Nm
Moment of friction, cylindrical roller bearing	[M_2]			0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 4000/IV T DE:1994					
Torque of friction	[M_{loss}]			0.267	Nm
Power loss	[P_{loss}]			17.796	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.					
The factors used to calculate the torque loss have been assumed for this bearing.					
Displacement of bearing	[u_x]			0.885	µm
Displacement of bearing	[u_y]			-27.865	µm
Displacement of bearing	[u_z]			-1.486	µm
Displacement of bearing	[u_r]			1.730	µm (-59.22°)
Misalignment of bearing	[r_x]			0.127	mrad (0.44')
Misalignment of bearing	[r_y]			-0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_z]			0.097	mrad (0.33')
Misalignment of bearing	[r_r]			0.160	mrad (0.55')
Bearing 'Con_kolo_sh10'					
Position (Y-coordinate)	[y]	108.00	mm		
Bearing reaction force	[Fx]	0.000	kN		
Bearing reaction force	[Fy]	-0.000	kN		
Bearing reaction force	[Fz]	0.042	kN		
Bearing reaction force	[Fr]	0.042	kN (89.92°)		
Bearing reaction moment	[Mx]	3.05	Nm		
Bearing reaction moment	[My]	-761.98	Nm		
Bearing reaction moment	[Mz]	0.01	Nm		
Bearing reaction moment	[Mr]	3.05	Nm (0.18°)		
Displacement of bearing	[u_x]			0.000	µm
Displacement of bearing	[u_y]			0.000	µm
Displacement of bearing	[u_z]			0.000	µm
Displacement of bearing	[u_r]			0.000	µm
Misalignment of bearing	[r_x]			0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_y]			0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_z]			0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_r]			0.000	mrad (0')

Damage (%) [Lreq] (1200.000)

Bin no	B1	B2
1	0.04	0.01
Σ	0.04	0.01

Utilization (%) [Lreq] (1200.000)

B1	B2
9.80	5.78

Note: Utilization = (Lreq/Lh)^(1/k)
Ball bearing: k = 3, roller bearing: k = 10/3
B1 : RollerBearing11
B2 : RollerBearing12

Calculation of the factors required to define reliability R(t) using the Weibull distribution. t in (h):
Calculation method: Bertsche

Bearing	p	fac	b	t0	T	R(H)%
1	Bearing	17	135	9.167e+06	2.034e+08	100.00
2	Bearing	3	135	9.167e+06	2.034e+08	100.00

Reliability of the configuration for required service life (%) 99.00

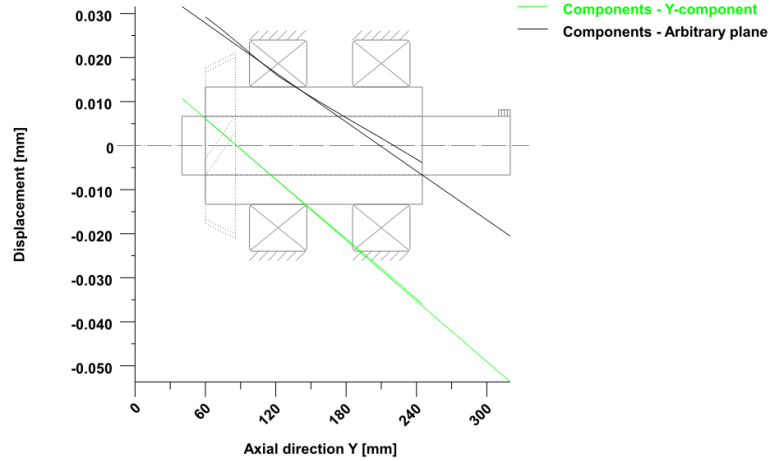
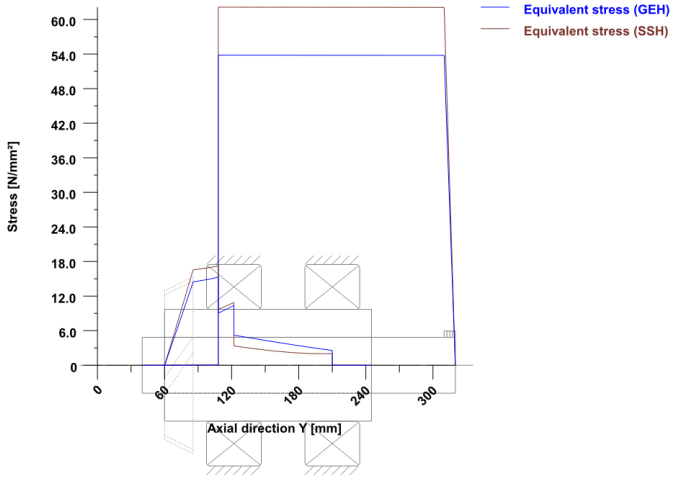


Figure: Deformation (bending etc.) (Arbitrary plane 307.4888612 124)



Nominal stresses, without taking into account stress concentrations
GEH(von Mises): sigV = ((sigB+sigZ,D)^2 + 3*(tauT+tauS)^2)^1/2
SSH(Tresca): sigV = ((sigB-sigZ,D)^2 + 4*(tauT+tauS)^2)^1/2
Figure: Equivalent stress

Strength calculation according to DIN 743:2012

Summary
Shaft10

Material	C45 (1)
Material type	Through hardened steel
Material treatment	unalloyed, through hardened
Surface treatment	No

Calculation of endurance limit and the static strength
Calculation for load case 2 (σav/σmv = const)

Cross section	Position (Y-Coord) (mm)				
Free cross section	85.82	Own Input			

Results:

Cross section	βσ	KFσ	K2d	SD	SS
Free cross section	1.00	0.90	0.87	7.64	5.26
Required safeties:				1.20	1.20

Abbreviations:
βσ: Notch factor, bending
KFσ: Surface factor
K2d: size factor bending
SD: Safety endurance limit
SS: Safety against yield point

End of Report **lines: 436**

PŘÍLOHA č. 3

Zpráva výpočtu hřídele 2 z programu KISSsoft

KISSsoft Release 2020 A.1
KISSsoft – student license (not for commercial use)
File

Name : Unnamed
Changed by: Uzivatel on: 07.05.2021 at: 19:42:35

Analysis of shafts, axle and beams

Input data

Coordinate system shaft:		see picture W-002	
Label		Shaft7	
Drawing			
Initial position (mm)			33.000
Length (mm)			1005.000
Speed (1/min)			636.62
Direction of rotation:		clockwise	
Material		C45 (1)	
Young's modulus (N/mm²)			206000.000
Poisson's ratio nu			0.300
Density (kg/m³)			7830.000
Coefficient of thermal expansion	(10^-6/K)		11.500
Temperature (°C)			0.000
Weight of shaft (kg)			15.451
Weight of shaft, including additional masses (kg)			15.451
Mass moment of inertia (kg*mm²)			4828.450
Momentum of mass GD2 (Nm²)			0.189
Label		kolo1	
Drawing			
Initial position (mm)			855.000
Length (mm)			177.000
Speed (1/min)			636.62
Direction of rotation:		clockwise	
Material		C45 (1)	
Young's modulus (N/mm²)			206000.000
Poisson's ratio nu			0.300
Density (kg/m³)			7830.000
Coefficient of thermal expansion	(10^-6/K)		11.500
Temperature (°C)			0.000
Weight of shaft (kg)			8.164
Weight of shaft, including additional masses (kg)			8.164
Mass moment of inertia (kg*m²)			0.013
Momentum of mass GD2 (Nm²)			0.501
Label		kolo2	
Drawing			
Initial position (mm)			37.300
Length (mm)			177.000
Speed (1/min)			636.62
Direction of rotation:		clockwise	
Material		C45 (1)	
Young's modulus (N/mm²)			206000.000
Poisson's ratio nu			0.300
Density (kg/m³)			7830.000
Coefficient of thermal expansion	(10^-6/K)		11.500
Temperature (°C)			0.000
Weight of shaft (kg)			8.164
Weight of shaft, including additional masses (kg)			8.164
Mass moment of inertia (kg*m²)			0.013
Momentum of mass GD2 (Nm²)			0.501
Label		pouzdro1	
Drawing			
Initial position (mm)			0.000
Length (mm)			200.000
Speed (1/min)			0.00
Direction of rotation:		clockwise	
Material		C45 (1)	
Young's modulus (N/mm²)			206000.000
Poisson's ratio nu			0.300
Density (kg/m³)			7830.000
Coefficient of thermal expansion	(10^-6/K)		11.500
Temperature (°C)			0.000
Weight of shaft (kg)			23.224
Weight of shaft, including additional masses (kg)			23.224
Mass moment of inertia (kg*m²)			0.245
Momentum of mass GD2 (Nm²)			9.620
Label		pouzdro2	

Drawing				
Initial position (mm)			485.000	
Length (mm)			65.000	
Speed (1/min)			0.00	
Direction of rotation:		clockwise		
Material		C45 (1)		
Young's modulus (N/mm²)			206000.000	
Poisson's ratio nu			0.300	
Density (kg/m³)			7830.000	
Coefficient of thermal expansion	(10^-6/K)		11.500	
Temperature (°C)			0.000	
Weight of shaft (kg)			7.634	
Weight of shaft, including additional masses (kg)			7.634	
Mass moment of inertia (kg*m²)			0.049	
Momentum of mass GD2 (Nm²)			1.910	
Weight towards			0.000	
Weight towards				-1.000
Weight towards				0.000
Consider deformations due to shearing				
Shear correction factor			1.100	
Rolling bearing stiffness is calculated from inner bearing geometry				
Tolerance field:		Mean value		
Reference temperature (°C)			20.000	

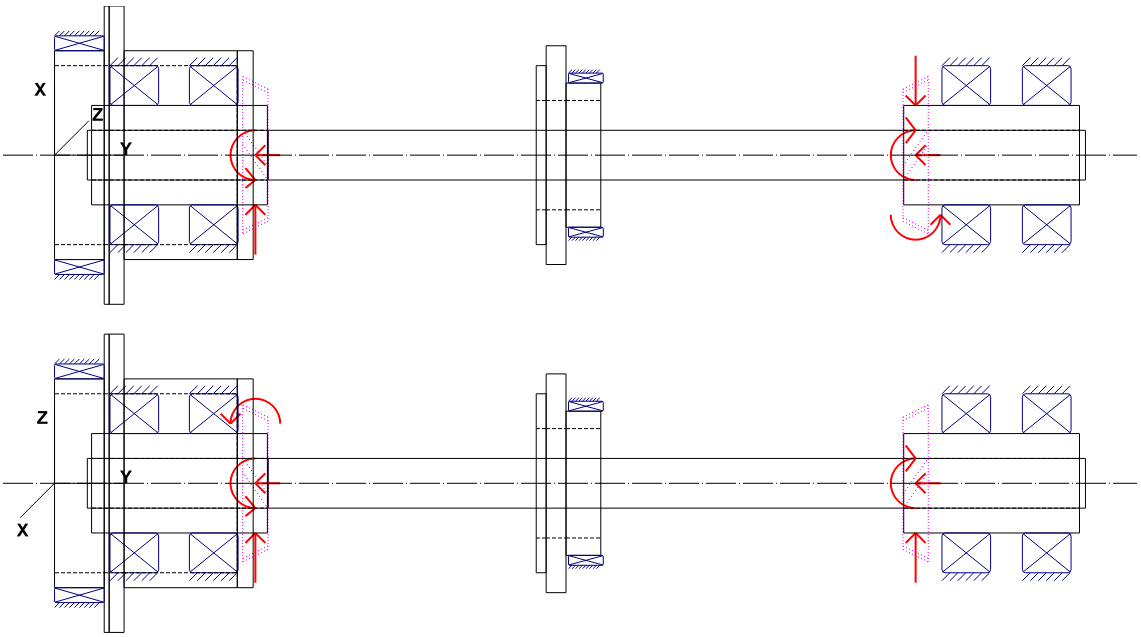


Figure: Load applications

Shaft definition		**(Shaft7)**	
Outer contour			
Cylinder (Cylinder)			**0.000 mm ... 182.000 mm**
Diameter (mm)	[d]		50.0000
Length (mm)	[l]		182.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000
Radius right (Radius right)			
r=2.00 (mm), Rz=8.0, Machined (Ra=3.2µm/125µin)			
Cylinder (Cylinder)			**182.000 mm ...1005.000 mm**
Diameter (mm)	[d]		50.0000
Length (mm)	[l]		823.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000
Shaft definition		**(kolo1)**	
Outer contour			
Cylinder (Cylinder)			**0.000 mm ... 177.000 mm**
Diameter (mm)	[d]		100.0000
Length (mm)	[l]		177.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000
Inner contour			
Cylindrical bore (Cylindrical bore)		**0.000 mm ... 177.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]		50.0000
Length (mm)	[l]		177.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000
Forces			

Type of force element		**Bevel gear**	
Label in the model		z3(z4_z3)	
Position on shaft (mm)	[y_{local}]	12.0000	
Position in global system (mm)	[y_{global}]	867.0000	
Operating pitch diameter (mm)		145.5443	
Helix angle (°)		30.0000	Double helical gearing, left-right
Pitch angle (°)		45.0000	Tip to the left
Working pressure angle at normal section (°)		20.0000	
Position of contact (°)		-0.0000	
Facewidth (mm)		36.0000	
Power (kW)		48.7667	driving (output)
Torque (Nm)		-731.5000	
Axial force (N)		-1116.4455	
Shearing force X (N)		-7090.9161	
Shearing force Z (N)		10051.9240	
Bending moment X (Nm)		-0.0000	
Bending moment Z (Nm)		-81.2461	

Bearing

Label in the model		RollerBearing7	
Bearing type		SKF 32220	
Bearing type		Taper roller bearing (single row) SKF Explorer	
Bearing position (mm)	[y_{lokal}]	63.000	
Bearing position (mm)	[y_{global}]	918.000	
Attachment of external ring		Set fixed bearing right	
Inner diameter (mm)	[d]	100.000	
External diameter (mm)	[D]	180.000	
Width (mm)	[b]	49.000	
Corner radius (mm)	[r]	3.000	
Number of rolling bodies	[Z]	20	
Rolling body reference circle (mm)	[D_{pw}]	139.014	
Diameter rolling body (mm)	[D_w]	21.770	
Rolling body length (mm)	[L_{we}]	28.121	
Distance a (mm)	[a]	40.981	
Diameter, external race (mm)	[d_o]	160.155	
Diameter, internal race (mm)	[d_i]	117.873	
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)
			46.5190
Basic static load rating (kN)	[C_0]	440.000	
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	390.000	
Fatigue load limit (kN)	[C_u]	48.000	
Values for approximated geometry:			
Basic dynamic load rating (kN)	[C_{theo}]	326.172	
Basic static load rating (kN)	[C_{0theo}]	440.000	
Correction factor Basic dynamic load rating	[f_C]	1.000	
Correction factor Basic static load rating	[f_{C0}]	1.000	

Label in the model		RollerBearing8	
Bearing type		SKF 32220	
Bearing type		Taper roller bearing (single row) SKF Explorer	
Bearing position (mm)	[y_{lokal}]	144.000	
Bearing position (mm)	[y_{global}]	999.000	
Attachment of external ring		Set fixed bearing left	
Inner diameter (mm)	[d]	100.000	
External diameter (mm)	[D]	180.000	
Width (mm)	[b]	49.000	
Corner radius (mm)	[r]	3.000	
Number of rolling bodies	[Z]	20	
Rolling body reference circle (mm)	[D_{pw}]	139.014	
Diameter rolling body (mm)	[D_w]	21.770	
Rolling body length (mm)	[L_{we}]	28.121	
Distance a (mm)	[a]	40.981	
Diameter, external race (mm)	[d_o]	160.155	
Diameter, internal race (mm)	[d_i]	117.873	

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
)
160.
4810

Basic static load rating (kN)	[C_0]	440.000	
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	390.000	
Fatigue load limit (kN)	[C_u]	48.000	
Values for approximated geometry:			
Basic dynamic load rating (kN)	[C_{theo}]	326.172	
Basic static load rating (kN)	[C_{0theo}]	440.000	
Correction factor Basic dynamic load rating	[f_C]	1.000	
Correction factor Basic static load rating	[f_{C0}]	1.000	

Shaft definition (kolo2)
Outer contour
Cylinder (Cylinder) 0.000 mm ... 177.000 mm

Diameter (mm)	[d]	100.0000	
Length (mm)	[l]	177.0000	
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000	

Inner contour
Cylindrical bore (Cylindrical bore) 0.000 mm ... 177.000 mm

Diameter (mm)	[d]	50.0000	
Length (mm)	[l]	177.0000	
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000	

Forces

Type of force element		**Bevel gear**	
Label in the model		z2(z2_z1)	
Position on shaft (mm)	[y_{local}]	164.9000	
Position in global system (mm)	[y_{global}]	202.2000	
Operating pitch diameter (mm)		145.5443	
Helix angle (°)		30.0000	Double helical gearing, right-left
Pitch angle (°)		45.0000	Tip to the right
Working pressure angle at normal section (°)		20.0000	
Position of contact (°)		90.0000	
Facewidth (mm)		36.0000	
Power (kW)		48.7667	driven (input)
Torque (Nm)		731.5000	
Axial force (N)		-7090.9161	
Shearing force X (N)		10051.9240	
Shearing force Z (N)		1116.4455	
Bending moment X (Nm)		516.0211	
Bending moment Z (Nm)		-0.0000	

Bearing

Label in the model		RollerBearing10	
Bearing type		SKF 32220	
Bearing type		Taper roller bearing (single row) SKF Explorer	
Bearing position (mm)	[y_{lokal}]	123.000	
Bearing position (mm)	[y_{global}]	160.300	
Attachment of external ring		Set fixed bearing left	
Inner diameter (mm)	[d]	100.000	
External diameter (mm)	[D]	180.000	
Width (mm)	[b]	49.000	
Corner radius (mm)	[r]	3.000	
Number of rolling bodies	[Z]	20	
Rolling body reference circle (mm)	[D_{pw}]	139.014	
Diameter rolling body (mm)	[D_w]	21.770	
Rolling body length (mm)	[L_{we}]	28.121	
Distance a (mm)	[a]	40.981	
Diameter, external race (mm)	[d_o]	160.155	
Diameter, internal race (mm)	[d_i]	117.873	

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
)

139.

4810

Basic static load rating (kN)	[C_0]	440.000
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	390.000
Fatigue load limit (kN)	[C_u]	48.000
Values for approximated geometry:		
Basic dynamic load rating (kN)	[C_{theo}]	326.172
Basic static load rating (kN)	[C_{0theo}]	440.000
Correction factor Basic dynamic load rating	[f_C]	1.000
Correction factor Basic static load rating	[f_{C0}]	1.000

Label in the model		RollerBearing9
Bearing type		SKF 32220
Bearing type		Taper roller bearing (single row) SKF Explorer
Bearing position (mm)	[y_{lokal}]	43.000
Bearing position (mm)	[y_{global}]	80.300
Attachment of external ring		Set fixed bearing right
Inner diameter (mm)	[d]	100.000
External diameter (mm)	[D]	180.000
Width (mm)	[b]	49.000
Corner radius (mm)	[r]	3.000
Number of rolling bodies	[Z]	20
Rolling body reference circle (mm)	[D_{pw}]	139.014
Diameter rolling body (mm)	[D_w]	21.770
Rolling body length (mm)	[L_{we}]	28.121
Distance a (mm)	[a]	40.981
Diameter, external race (mm)	[d_o]	160.155
Diameter, internal race (mm)	[d_i]	117.873

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

)

26.5

190

Basic static load rating (kN)	[C_0]	440.000
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	390.000
Fatigue load limit (kN)	[C_u]	48.000
Values for approximated geometry:		
Basic dynamic load rating (kN)	[C_{theo}]	326.172
Basic static load rating (kN)	[C_{0theo}]	440.000
Correction factor Basic dynamic load rating	[f_C]	1.000
Correction factor Basic static load rating	[f_{C0}]	1.000

Shaft definition (pouzdro1)

Outer contour		
Cylinder (Cylinder)		**0.000 mm ... 50.000 mm**
Diameter (mm)	[d]	210.0000
Length (mm)	[l]	50.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000
Cylinder (Cylinder)		**50.000 mm ... 70.000 mm**
Diameter (mm)	[d]	300.0000
Length (mm)	[l]	20.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000
Cylinder (Cylinder)		**70.000 mm ... 200.000 mm**
Diameter (mm)	[d]	210.0000
Length (mm)	[l]	130.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000
Inner contour		
Cylindrical bore (Cylindrical bore)	**0.000 mm ... 55.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]	180.0000
Length (mm)	[l]	55.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000
Cylindrical bore (Cylindrical bore_2)	**55.000 mm ... 184.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]	180.0000
Length (mm)	[l]	129.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000
Bearing		

Label in the model	RollerBearing13

Bearing type		SKF RNA 4838
Bearing type		Needle roller bearing (with/without internal ring)
Bearing position (mm)	[y_{lokal}]	25.000
Bearing position (mm)	[y_{global}]	25.000
Attachment of external ring		Fixed bearing
Inner diameter (mm)	[d]	210.000
External diameter (mm)	[D]	240.000
Width (mm)	[b]	50.000
Corner radius (mm)	[r]	1.500
Number of rolling bodies	[Z]	57
Rolling body reference circle (mm)	[D_{pw}]	217.500
Diameter rolling body (mm)	[D_w]	7.500
Rolling body length (mm)	[L_{we}]	39.094
Diameter, external race (mm)	[d_o]	225.067
Diameter, internal race (mm)	[d_i]	209.933
Calculation with approximate bearings internal geometry (*)		
Bearing clearance		DIN 620:1988 C0 (135.00 µm)
Basic static load rating (kN)	[C_0]	710.000
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	220.000
Fatigue load limit (kN)	[C_u]	73.500
Values for approximated geometry:		
Basic dynamic load rating (kN)	[C_{theo}]	235.198
Basic static load rating (kN)	[C_{0theo}]	710.000
Correction factor Basic dynamic load rating	[f_C]	1.000
Correction factor Basic static load rating	[f_{C0}]	1.000

Shaft definition (pouzdro2)

Outer contour

Cylinder (Cylinder)		**0.000 mm ... 10.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]		180.0000
Length (mm)	[l]		10.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000
Cylinder (Cylinder)		**10.000 mm ... 30.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]		220.0000
Length (mm)	[l]		20.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000
Cylinder (Cylinder)		**30.000 mm ... 65.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]		145.0000
Length (mm)	[l]		35.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000

Inner contour

Cylindrical bore (Cylindrical bore)		**0.000 mm ... 65.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]		110.0000
Length (mm)	[l]		65.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000

Bearing

Label in the model		RollerBearing14
Bearing type		SKF RNA 4826
Bearing type		Needle roller bearing (with/without internal ring)
Bearing position (mm)	[y_{lokal}]	50.000
Bearing position (mm)	[y_{global}]	535.000
Attachment of external ring		Fixed bearing
Inner diameter (mm)	[d]	145.000
External diameter (mm)	[D]	165.000
Width (mm)	[b]	35.000
Corner radius (mm)	[r]	1.100
Number of rolling bodies	[Z]	47
Rolling body reference circle (mm)	[D_{pw}]	151.000
Diameter rolling body (mm)	[D_w]	6.000
Rolling body length (mm)	[L_{we}]	27.277
Diameter, external race (mm)	[d_o]	157.048
Diameter, internal race (mm)	[d_i]	144.952
Calculation with approximate bearings internal geometry (*)		
Bearing clearance		DIN 620:1988 C0 (95.00 µm)
Basic static load rating (kN)	[C_0]	325.000
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	119.000
Fatigue load limit (kN)	[C_u]	36.500
Values for approximated geometry:		
Basic dynamic load rating (kN)	[C_{theo}]	124.945
Basic static load rating (kN)	[C_{0theo}]	325.000
Correction factor Basic dynamic load rating	[f_C]	1.000
Correction factor Basic static load rating		

	[f_{C0}]			1.000	
CONNECTIONS					
(Con_kolo1_sh7)				**915.000 mm**	
Degrees of freedom					
X: fixedY: fixedZ: fixed					
Rx: fixedRy: fixedRz: fixed					
(Con_kolo2_sh7)				**125.000 mm**	
Degrees of freedom					
X: fixedY: freeZ: fixed					
Rx: fixedRy: fixedRz: fixed					
Results					
Shaft					
Maximum deflection 36.395 (µm) (Shaft7 pos = 665.775 mm)					
Mass center of gravity					
Shaft7 (mm)				502.500	
kolo1 (mm)				88.500	
kolo2 (mm)				88.500	
pouzdro1 (mm)				102.906	
pouzdro2 (mm)				24.467	
Total axial load					
Shaft7 (N)				0.000	
kolo1 (N)				-1116.445	
kolo2 (N)				-7090.916	
pouzdro1 (N)				0.000	
pouzdro2 (N)				0.000	
Torsion under torque					
Shaft7 (°)				-0.681	
kolo1 (°)				0.003	
kolo2 (°)				0.004	
pouzdro1 (°)				-0.000	
pouzdro2 (°)				-0.000	

Bearing					
Probability of failure	[n]	10.00	%		
Axial clearance (ISO 281)	[u_A]			10.00	µm
Lubricant	ISOFLEX PDB 38 CX 1000				
Lubricant - service temperature	[T_B]			70.00	°C
Rolling bearing rating life according to ISO/TS 16281:2008					
Shaft 'kolo1' Rolling bearing 'RollerBearing7'					
Position (Y-coordinate)	[y]	63.00	mm		
Dynamic equivalent load	[P]	15.06	kN		
Static equivalent load	[P_0]			15.06	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Life modification factor for reliability[a_1]				1.000	
Results according to ISO 281:					
Lubricant	ISOFLEX PDB 38 CX 1000				
Load ratio	[C/P]			25.895	
Operating viscosity	[v]			6.072	mm²/s
Reference viscosity	[v_1]			0.000	mm²/s
Viscosity ratio	[κ]			0.000	
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			1.3449e+06	h
Static safety factor	[S_0]			29.21	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			3.3119e+06	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			16.14	
Static safety factor	[S_{0ref}]			23.87	
Static equivalent load	[P_{0ref}]			18.44	kN
Bearing reaction force	[Fx]	8.923	kN		
Bearing reaction force	[Fy]	-5.063	kN		
Bearing reaction force	[Fz]	-12.133	kN		
Bearing reaction force	[Fr]	15.061	kN (-53.67°)		
Bearing reaction moment	[Mx]	253.10	Nm		
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm		
Bearing reaction moment	[Mz]	186.21	Nm		
Bearing reaction moment	[Mr]	314.22	Nm (36.34°)		
Oil level	[H]	0.000	mm		
Load-independent moment of friction	[M_0]			0.135	Nm
Load-dependent moment of friction	[M_1]			0.633	Nm
Moment of friction, cylindrical roller bearing[M_2]				0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 4000/IV T DE:1994					
Torque of friction	[M_{loss}]			0.768	Nm
Power loss	[P_{loss}]			51.182	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.					

The factors used to calculate the torque loss have been assumed for this bearing.					
Displacement of bearing	[u_x]			-9.124	µm
Displacement of bearing	[u_y]			-9.245	µm
Displacement of bearing	[u_z]			12.497	µm
Displacement of bearing	[u_r]			15.473	µm (126.13°)
Misalignment of bearing	[r_x]			-0.146	mrad (-0.5')
Misalignment of bearing	[r_y]			-11.887	mrad (-40.86')
Misalignment of bearing	[r_z]			-0.111	mrad (-0.38')
Misalignment of bearing	[r_r]			0.183	mrad (0.63')
Shaft 'kolo1' Rolling bearing 'RollerBearing8'					
Position (Y-coordinate)	[y]	144.00	mm		
Dynamic equivalent load	[P]	10.13	kN		
Static equivalent load	[P_0]			6.57	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Life modification factor for reliability	[a_1]			1.000	
Results according to ISO 281:					
Lubricant	ISOFLEX PDB 38 CX 1000				
Load ratio	[C/P]			38.494	
Operating viscosity	[v]			6.072	mm²/s
Reference viscosity	[v_1]			0.000	mm²/s
Viscosity ratio	[κ]			0.000	
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			5.0421e+06	h
Static safety factor	[S_0]			66.93	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			1.7548e+07	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			31.00	
Static safety factor	[S_{0ref}]			58.89	
Static equivalent load	[P_{0ref}]			7.47	kN
Bearing reaction force	[Fx]	-1.959	kN		
Bearing reaction force	[Fy]	6.411	kN		
Bearing reaction force	[Fz]	2.123	kN		
Bearing reaction force	[Fr]	2.889	kN (132.7°)		
Bearing reaction moment	[Mx]	49.25	Nm		
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm		
Bearing reaction moment	[Mz]	44.35	Nm		
Bearing reaction moment	[Mr]	66.27	Nm (42°)		
Oil level	[H]	0.000	mm		
Load-independent moment of friction	[M_0]			0.135	Nm
Load-dependent moment of friction	[M_1]			0.121	Nm
Moment of friction, cylindrical roller bearing	[M_2]			0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 4000/IV T DE:1994					
Torque of friction	[M_{loss}]			0.257	Nm
Power loss	[P_{loss}]			17.101	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.					
The factors used to calculate the torque loss have been assumed for this bearing.					
Displacement of bearing	[u_x]			-1.060	µm
Displacement of bearing	[u_y]			-27.449	µm
Displacement of bearing	[u_z]			1.652	µm
Displacement of bearing	[u_r]			1.963	µm (122.68°)
Misalignment of bearing	[r_x]			-0.134	mrad (-0.46')
Misalignment of bearing	[r_y]			-11.887	mrad (-40.86')
Misalignment of bearing	[r_z]			-0.100	mrad (-0.34')
Misalignment of bearing	[r_r]			0.167	mrad (0.58')
Shaft 'kolo2' Rolling bearing 'RollerBearing10'					
Position (Y-coordinate)	[y]	123.00	mm		
Dynamic equivalent load	[P]	17.15	kN		
Static equivalent load	[P_0]			13.22	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Life modification factor for reliability	[a_1]			1.000	
Results according to ISO 281:					
Lubricant	ISOFLEX PDB 38 CX 1000				
Load ratio	[C/P]			22.746	
Operating viscosity	[v]			6.072	mm²/s
Reference viscosity	[v_1]			0.000	mm²/s
Viscosity ratio	[κ]			0.000	
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			8.7300e+05	h
Static safety factor	[S_0]			33.28	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			3.3466e+06	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			18.70	
Static safety factor	[S_{0ref}]			29.17	
Static equivalent load	[P_{0ref}]			15.09	kN
Bearing reaction force	[Fx]	-11.353	kN		

Bearing reaction force	[Fy]	8.643	kN		
Bearing reaction force	[Fz]	-5.499	kN		
Bearing reaction force	[Fr]	12.614	kN (-154.16°)		
Bearing reaction moment	[Mx]	-119.12	Nm		
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm		
Bearing reaction moment	[Mz]	234.57	Nm		
Bearing reaction moment	[Mr]	263.08	Nm (116.92°)		
Oil level	[H]	0.000	mm		
Load-independent moment of friction	[M_0]			0.135	Nm
Load-dependent moment of friction	[M_1]			0.530	Nm
Moment of friction, cylindrical roller bearing	[M_2]			0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 4000/IV T DE:1994					
Torque of friction	[M_{loss}]			0.665	Nm
Power loss	[P_{loss}]			44.331	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.					
The factors used to calculate the torque loss have been assumed for this bearing.					
Displacement of bearing	[u_x]			3.249	µm
Displacement of bearing	[u_y]			-31.970	µm
Displacement of bearing	[u_z]			-0.297	µm
Displacement of bearing	[u_r]			3.262	µm (-5.22°)
Misalignment of bearing	[r_x]			0.135	mrad (0.46')
Misalignment of bearing	[r_y]			0.035	mrad (0.12')
Misalignment of bearing	[r_z]			-0.079	mrad (-0.27')
Misalignment of bearing	[r_r]			0.156	mrad (0.54')
Shaft 'kolo2' Rolling bearing 'RollerBearing9'					
Position (Y-coordinate)	[y]	43.00	mm		
Dynamic equivalent load	[P]	4.57	kN		
Static equivalent load	[P_0]			4.57	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Life modification factor for reliability	[a_1]			1.000	
Results according to ISO 281:					
Lubricant	ISOFLEX PDB 38 CX 1000				
Load ratio	[C/P]			85.360	
Operating viscosity	[v]			6.072	mm²/s
Reference viscosity	[v_1]			0.000	mm²/s
Viscosity ratio	[κ]			0.000	
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			7.1693e+07	h
Static safety factor	[S_0]			96.30	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			1.2008e+08	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			35.60	
Static safety factor	[S_{0ref}]			71.23	
Static equivalent load	[P_{0ref}]			6.18	kN
Bearing reaction force	[Fx]	1.428	kN		
Bearing reaction force	[Fy]	-1.472	kN		
Bearing reaction force	[Fz]	4.340	kN		
Bearing reaction force	[Fr]	4.569	kN (71.79°)		
Bearing reaction moment	[Mx]	-90.20	Nm		
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm		
Bearing reaction moment	[Mz]	29.82	Nm		
Bearing reaction moment	[Mr]	95.00	Nm (161.71°)		
Oil level	[H]	0.000	mm		
Load-independent moment of friction	[M_0]			0.135	Nm
Load-dependent moment of friction	[M_1]			0.192	Nm
Moment of friction, cylindrical roller bearing	[M_2]			0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 4000/IV T DE:1994					
Torque of friction	[M_{loss}]			0.327	Nm
Power loss	[P_{loss}]			21.804	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.					
The factors used to calculate the torque loss have been assumed for this bearing.					
Displacement of bearing	[u_x]			-2.375	µm
Displacement of bearing	[u_y]			-13.669	µm
Displacement of bearing	[u_z]			-9.168	µm
Displacement of bearing	[u_r]			9.470	µm (-104.52°)
Misalignment of bearing	[r_x]			0.112	mrad (0.39')
Misalignment of bearing	[r_y]			0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_z]			-0.070	mrad (-0.24')
Misalignment of bearing	[r_r]			0.133	mrad (0.46')
Shaft 'pouzdro1' Rolling bearing 'RollerBearing13'					
Position (Y-coordinate)	[y]	25.00	mm		
Dynamic equivalent load	[P]	0.00	kN		
Static equivalent load	[P_0]			0.00	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Life modification factor for reliability	[a_1]			1.000	

Results according to ISO 281:

Lubricant	ISOFLEX PDB 38 CX 1000				
Load ratio	[C/P]			50509901613456629 76.000	
Operating viscosity	[v]			6.072	mm²/s
Reference viscosity	[v_1]			0.000	mm²/s
Viscosity ratio	[κ]			0.000	
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			1.0000e+10	h
Static safety factor	[S_0]			9999.99	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			135.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			1.0000e+06	h
Modified reference rating life	[L_{nrmh}]			1.0000e+06	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			13.85	
Static safety factor	[S_{0ref}]			20.29	
Static equivalent load	[P_{0ref}]			35.00	kN
Bearing reaction force	[Fx]	-0.000	kN		
Bearing reaction force	[Fy]	0.228	kN		
Bearing reaction force	[Fz]	-0.000	kN		
Bearing reaction force	[Fr]	0.000	kN		
Bearing reaction moment	[Mx]	0.00	Nm		
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm		
Bearing reaction moment	[Mz]	-0.00	Nm		
Bearing reaction moment	[Mr]	0.00	Nm (-2.95°)		
Oil level	[H]	0.000	mm		
Load-independent moment of friction	[M_0]			0.329	Nm
Load-dependent moment of friction	[M_1]			0.000	Nm
Moment of friction, cylindrical roller bearing	[M_2]			0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 4000/IV T DE:1994					
Torque of friction	[M_{loss}]			0.329	Nm
Power loss	[P_{loss}]			0.000	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.					
The factors used to calculate the torque loss have been assumed for this bearing.					
Displacement of bearing	[u_x]			-0.000	µm
Displacement of bearing	[u_y]			-17.590	µm
Displacement of bearing	[u_z]			-0.000	µm
Displacement of bearing	[u_r]			0.000	µm
Misalignment of bearing	[r_x]			0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_y]			-0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_z]			-0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_r]			0.000	mrad (0')
Shaft 'pouzdro2' Rolling bearing 'RollerBearing14'					
Position (Y-coordinate)	[y]	50.00	mm		
Dynamic equivalent load	[P]	0.00	kN		
Static equivalent load	[P_0]			0.00	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Life modification factor for reliability	[a_1]			1.000	

Results according to ISO 281:

Lubricant	ISOFLEX PDB 38 CX 1000				
Load ratio	[C/P]			389354467973129589 22752.000	
Operating viscosity	[v]			6.072	mm²/s
Reference viscosity	[v_1]			0.000	mm²/s
Viscosity ratio	[κ]			0.000	
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			1.0000e+10	h
Static safety factor	[S_0]			9999.99	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			95.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			1.0000e+06	h
Modified reference rating life	[L_{nrmh}]			1.0000e+06	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			2399.33	
Static safety factor	[S_{0ref}]			9999.99	
Static equivalent load	[P_{0ref}]			0.00	kN
Bearing reaction force	[Fx]	-0.000	kN		
Bearing reaction force	[Fy]	0.075	kN		
Bearing reaction force	[Fz]	-0.000	kN		
Bearing reaction force	[Fr]	0.000	kN		
Bearing reaction moment	[Mx]	0.00	Nm		
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm		
Bearing reaction moment	[Mz]	-0.00	Nm		
Bearing reaction moment	[Mr]	0.00	Nm (-32.84°)		
Oil level	[H]	0.000	mm		
Load-independent moment of friction	[M_0]			0.110	Nm
Load-dependent moment of friction	[M_1]			0.000	Nm
Moment of friction, cylindrical roller bearing	[M_2]			0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 4000/IV T DE:1994					
Torque of friction	[M_{loss}]			0.110	Nm

Power loss	[P_{loss}]			0.000	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.					
The factors used to calculate the torque loss have been assumed for this bearing.					
Displacement of bearing	[u_x]			-0.000	µm
Displacement of bearing	[u_y]			-14.272	µm
Displacement of bearing	[u_z]			-0.000	µm
Displacement of bearing	[u_r]			0.000	µm
Misalignment of bearing	[r_x]			0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_y]			-0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_z]			-0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_r]			0.000	mrad (0')
Bearing 'Con_kolo1_sh7'					
Position (Y-coordinate)	[y]	915.00	mm		
Bearing reaction force	[Fx]	-0.127	kN		
Bearing reaction force	[Fy]	0.152	kN		
Bearing reaction force	[Fz]	0.042	kN		
Bearing reaction force	[Fr]	0.134	kN (161.57°)		
Bearing reaction moment	[Mx]	-38.20	Nm		
Bearing reaction moment	[My]	-731.50	Nm		
Bearing reaction moment	[Mz]	-53.23	Nm		
Bearing reaction moment	[Mr]	65.52	Nm (-125.66°)		
Displacement of bearing	[u_x]			0.000	µm
Displacement of bearing	[u_y]			0.000	µm
Displacement of bearing	[u_z]			0.000	µm
Displacement of bearing	[u_r]			0.000	µm
Misalignment of bearing	[r_x]			0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_y]			0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_z]			0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_r]			0.000	mrad (0')
Bearing 'Con_kolo2_sh7'					
Position (Y-coordinate)	[y]	125.00	mm		
Bearing reaction force	[Fx]	0.127	kN		
Bearing reaction force	[Fy]	0.000	kN		
Bearing reaction force	[Fz]	-0.042	kN		
Bearing reaction force	[Fr]	0.134	kN (-18.43°)		
Bearing reaction moment	[Mx]	4.77	Nm		
Bearing reaction moment	[My]	731.50	Nm		
Bearing reaction moment	[Mz]	-47.06	Nm		
Bearing reaction moment	[Mr]	47.30	Nm (-84.21°)		
Displacement of bearing	[u_x]			0.000	µm
Displacement of bearing	[u_y]			196.893	µm
Displacement of bearing	[u_z]			0.000	µm
Displacement of bearing	[u_r]			0.000	µm
Misalignment of bearing	[r_x]			0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_y]			0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_z]			0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_r]			0.000	mrad (0')

Damage (%) [Lreq] (1200.000)

Bin no	B1	B2	B3	B4	B5	B6
1	0.04	0.01	0.04	0.00	0.12	0.12
Σ	0.04	0.01	0.04	0.00	0.12	0.12

Utilization (%) [Lreq] (1200.000)

B1	B2	B3	B4	B5	B6
9.28	5.63	9.25	3.16	13.30	13.30

Note: Utilization = (Lreq/Lh)^(1/k)
Ball bearing: k = 3, roller bearing: k = 10/3
B1 : RollerBearing7
B2 : RollerBearing8
B3 : RollerBearing10
B4 : RollerBearing9
B5 : RollerBearing13
B6 : RollerBearing14

Calculation of the factors required to define reliability R(t) using the Weibull distribution. t in (h):
Calculation method: Bertsche

Bearing	p	fac	b	t0	T	R(H)%
1	Bearing	14	135	9.167e+06	2.034e+08	100.00
2	Bearing	3	135	9.167e+06	2.034e+08	100.00
3	Bearing	14	135	9.167e+06	2.034e+08	100.00
4	Bearing	0	135	9.167e+06	2.034e+08	100.00
5	Bearing	0	135	2e-10	4.437e-09	100.00
6	Bearing	0	135	2e-10	4.437e-09	100.00

Reliability of the configuration for required service life (%) 99.00

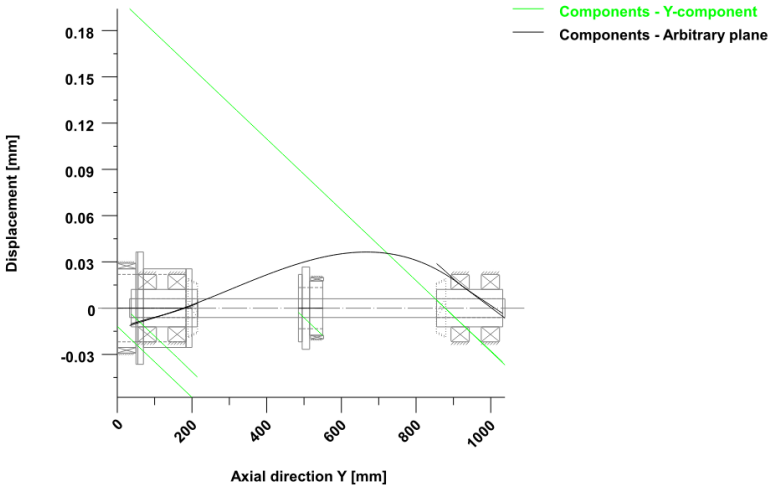
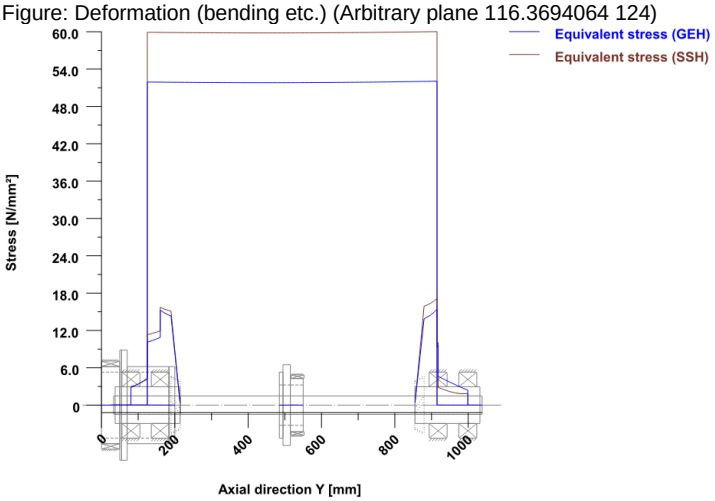


Figure: Deformation (bending etc.) (Arbitrary plane 116.3694064 124)



Nominal stresses, without taking into account stress concentrations
GEH(von Mises): sigV = ((sigB+sigZ,D)^2 + 3*(tauT+tauS)^2)^1/2
SSH(Tresca): sigV = ((sigB-sigZ,D)^2 + 4*(tauT+tauS)^2)^1/2
Figure: Equivalent stress

Strength calculation according to DIN 743:2012

Summary
Shaft7

Material	C45 (1)
Material type	Through hardened steel
Material treatment	unalloyed, through hardened
Surface treatment	No

Calculation of endurance limit and the static strength
Calculation for load case 2 (σav/σmv = const)

Cross section	Position (Y-Coord) (mm)	
Free cross section	297.77	Own Input

Results:

Cross section	βσ	KFσ	K2d	SD	SS
Free cross section	1.00	0.90	0.87	6.00	5.47
Required safeties:				1.20	1.20

Abbreviations:
βσ: Notch factor, bending
KFσ: Surface factor
K2d: size factor bending
SD: Safety endurance limit
SS: Safety against yield point

End of Report **lines: 952**

PŘÍLOHA č. 4

Zpráva výpočtu hřídele 3 z programu KISSsoft

KISSsoft Release 2020 A.1

KISSsoft – student license (not for commercial use)

File

Name : Unnamed
Changed by: Uzivatel on: 07.05.2021 at: 19:45:22

Analysis of shafts, axle and beams

Input data

Coordinate system shaft:		see picture W-002		
Label		Shaft4		
Drawing				
Initial position (mm)			46.000	
Length (mm)			400.000	
Speed (1/min)			636.62	
Direction of rotation:		counterclockwise		
Material		C45 (1)		
Young's modulus (N/mm²)			206000.000	
Poisson's ratio nu			0.300	
Density (kg/m³)			7830.000	
Coefficient of thermal expansion	(10^-6/K)		11.500	
Temperature (°C)			0.000	
Weight of shaft (kg)			14.655	
Weight of shaft, including additional masses (kg)			14.655	
Mass moment of inertia (kg*m²)			0.012	
Momentum of mass GD2 (Nm²)			0.459	
Label		kolo		
Drawing				
Initial position (mm)			61.000	
Length (mm)			177.000	
Speed (1/min)			636.62	
Direction of rotation:		counterclockwise		
Material		C45 (1)		
Young's modulus (N/mm²)			206000.000	
Poisson's ratio nu			0.300	
Density (kg/m³)			7830.000	
Coefficient of thermal expansion	(10^-6/K)		11.500	
Temperature (°C)			0.000	
Weight of shaft (kg)			5.551	
Weight of shaft, including additional masses (kg)			5.551	
Mass moment of inertia (kg*m²)			0.010	
Momentum of mass GD2 (Nm²)			0.406	
Weight towards			0.000	
Weight towards				0.000
Weight towards				-1.000
Consider deformations due to shearing				
Shear correction factor			1.100	
Rolling bearing stiffness is calculated from inner bearing geometry				
Tolerance field:		Mean value		
Reference temperature (°C)			20.000	

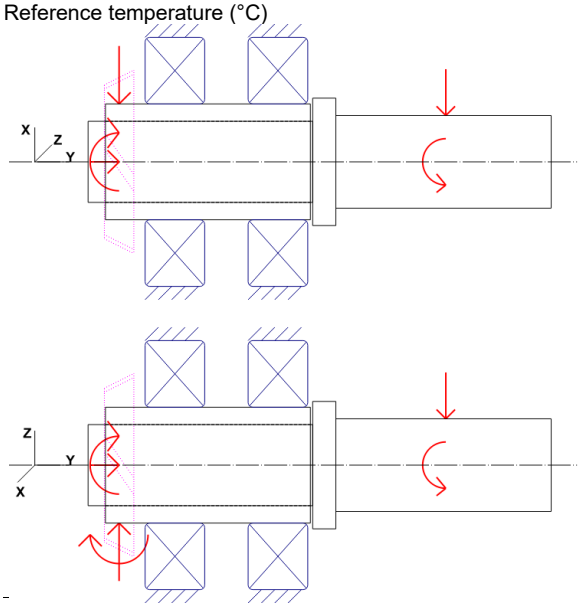


Figure: Load applications

Shaft definition		**(Shaft4)**	
Outer contour			
Cylinder (Cylinder)		**0.000 mm ... 194.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]	70.0000	
Length (mm)	[l]	194.0000	
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000	
Radius right (Radius right)			
r=2.00 (mm), Rz=8.0, Machined (Ra=3.2µm/125µin)			
Cylinder (Cylinder)		**194.000 mm ... 214.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]	110.0000	
Length (mm)	[l]	20.0000	
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000	
Cylinder (Cylinder)		**214.000 mm ... 400.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]	80.0000	
Length (mm)	[l]	186.0000	
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000	
Radius left (Radius left)			
r=2.00 (mm), Rz=8.0, Machined (Ra=3.2µm/125µin)			
Forces			
Type of force element		**Rope sheave**	
Label in the model		RopeSheave2(Belt_const1)	
Position on shaft (mm)	[y_{local}]	309.0000	
Position in global system (mm)	[y_{global}]	355.0000	
Direction of belt force (°)		-120.0000	
Sheave diameter (mm)		265.0000	
Length of load application (mm)		161.5000	
Power (kW)		46.8160	driving (output)
Torque (Nm)		702.2400	
Axial force (N)		0.0000	
Shearing force X (N)		-3975.2362	
Shearing force Z (N)		-6885.3111	
Bending moment X (Nm)		0.0000	
Bending moment Z (Nm)		0.0000	
Sum of the belt forces (N)		7950.4724	
Shaft definition		**(kolo)**	
Outer contour			
Cylinder (Cylinder)		**0.000 mm ... 177.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]	100.0000	
Length (mm)	[l]	177.0000	
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000	
Inner contour			
Cylindrical bore (Cylinder inside)	**0.000 mm ... 177.000 mm**		
Diameter (mm)	[d]	70.0000	
Length (mm)	[l]	177.0000	
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000	
Forces			
Type of force element		**Bevel gear**	
Label in the model		z4(z4_z3)	
Position on shaft (mm)	[y_{local}]	11.8000	
Position in global system (mm)	[y_{global}]	72.8000	
Operating pitch diameter (mm)		145.5443	
Helix angle (°)		30.0000	Double helical gearing, right-left
Pitch angle (°)		45.0000	Tip to the left
Working pressure angle at normal section (°)		20.0000	
Position of contact (°)		90.0000	
Facewidth (mm)		36.0000	
Power (kW)		46.8160	driven (input)
Torque (Nm)		-702.2400	
Axial force (N)		6807.2795	
Shearing force X (N)		-9649.8471	
Shearing force Z (N)		1071.7877	
Bending moment X (Nm)		-495.3803	
Bending moment Z (Nm)		0.0000	
Bearing			

Label in the model		RollerBearing5	
Bearing type		SKF 30320	
Bearing type		Taper roller bearing (single row)	
Bearing position (mm)	[y_{lokal}]	60.000	
Bearing position (mm)	[y_{global}]	121.000	
Attachment of external ring		Set fixed bearing right	
Inner diameter (mm)	[d]	100.000	
External diameter (mm)	[D]	215.000	

Width (mm)	[b]		51.500
Corner radius (mm)	[r]		4.000
Number of rolling bodies	[Z]		16
Rolling body reference circle (mm)	[D_{pw}]		158.849
Diameter rolling body (mm)	[D_w]		30.450
Rolling body length (mm)	[L_{we}]		28.869
Distance a (mm)	[a]		40.161
Diameter, external race (mm)	[d_o]		188.727
Diameter, internal race (mm)	[d_i]		128.971
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
)			
			45.5
890			
Basic static load rating (kN)	[C_0]		490.000
Basic dynamic load rating (kN)	[C]		431.000
Fatigue load limit (kN)	[C_u]		53.000
Values for approximated geometry:			
Basic dynamic load rating (kN)	[C_{theo}]		410.363
Basic static load rating (kN)	[C_{0theo}]		490.000
Correction factor Basic dynamic load rating			
	[f_C]		1.000
Correction factor Basic static load rating			
	[f_{C0}]		1.000

Label in the model		RollerBearing6	
Bearing type		SKF 30320	
Bearing type		Taper roller bearing (single row)	
Bearing position (mm)	[y_{lokal}]		149.000
Bearing position (mm)	[y_{global}]		210.000
Attachment of external ring		Set fixed bearing left	
Inner diameter (mm)	[d]		100.000
External diameter (mm)	[D]		215.000
Width (mm)	[b]		51.500
Corner radius (mm)	[r]		4.000
Number of rolling bodies	[Z]		16
Rolling body reference circle (mm)	[D_{pw}]		158.849
Diameter rolling body (mm)	[D_w]		30.450
Rolling body length (mm)	[L_{we}]		28.869
Distance a (mm)	[a]		40.161
Diameter, external race (mm)	[d_o]		188.727
Diameter, internal race (mm)	[d_i]		128.971
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)163.4110			
Basic static load rating (kN)	[C_0]		490.000
Basic dynamic load rating (kN)	[C]		431.000
Fatigue load limit (kN)	[C_u]		53.000
Values for approximated geometry:			
Basic dynamic load rating (kN)	[C_{theo}]		410.363
Basic static load rating (kN)	[C_{0theo}]		490.000
Correction factor Basic dynamic load rating			
	[f_C]		1.000
Correction factor Basic static load rating			
	[f_{C0}]		1.000

CONNECTIONS

(Con_ko_sh4) 159.000 mm

Degrees of freedom
X: fixedY: fixedZ: fixed
Rx: fixedRy: fixedRz: fixed

Results

Shaft

Maximum deflection 247.399 (µm) (Shaft4 pos = 446.000 mm)

Mass center of gravity

Shaft4 (mm)	212.769
kolo (mm)	88.500

Total axial load

Shaft4 (N)	0.000
kolo (N)	6807.279

Torsion under torque

Shaft4 (°)	0.030

kolo (°)				0.006	

Bearing					
Probability of failure	[n]	10.00	%		
Axial clearance (ISO 281)	[u_A]			10.00	µm
Lubricant	ISOFLEX PDB 38 CX 1000				
Lubricant - service temperature	[T_B]			70.00	°C
Rolling bearing rating life according to ISO/TS 16281:2008					
Shaft 'kolo' Rolling bearing 'RollerBearing5'					
Position (Y-coordinate)	[y]	60.00	mm		
Dynamic equivalent load	[P]	25.64	kN		
Static equivalent load	[P_0]			17.65	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Life modification factor for reliability[a_1]				1.000	
Results according to ISO 281:					
Lubricant	ISOFLEX PDB 38 CX 1000				
Load ratio	[C/P]			16.811	
Operating viscosity	[v]			6.072	mm²/s
Reference viscosity	[v_1]			0.000	mm²/s
Viscosity ratio	[κ]			0.000	
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			3.1862e+05	h
Static safety factor	[S_0]			27.76	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			1.2524e+06	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			15.60	
Static safety factor	[S_{0ref}]			23.59	
Static equivalent load	[P_{0ref}]			20.77	kN
Bearing reaction force	[Fx]	7.992	kN		
Bearing reaction force	[Fy]	-11.751	kN		
Bearing reaction force	[Fz]	-11.684	kN		
Bearing reaction force	[Fr]	14.155	kN (-55.63°)		
Bearing reaction moment	[Mx]	249.58	Nm		
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm		
Bearing reaction moment	[Mz]	149.03	Nm		
Bearing reaction moment	[Mr]	290.69	Nm (30.84°)		
Oil level	[H]	0.000	mm		
Load-independent moment of friction	[M_0]			0.192	Nm
Load-dependent moment of friction	[M_1]			0.669	Nm
Moment of friction, cylindrical roller bearing[M_2]				0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 4000/IV T DE:1994					
Torque of friction	[M_{loss}]			0.861	Nm
Power loss	[P_{loss}]			57.420	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.					
The factors used to calculate the torque loss have been assumed for this bearing.					
Displacement of bearing	[u_x]			-4.571	µm
Displacement of bearing	[u_y]			67.656	µm
Displacement of bearing	[u_z]			-1.722	µm
Displacement of bearing	[u_r]			4.885	µm (-159.36°)
Misalignment of bearing	[r_x]			-0.372	mrad (-1.28')
Misalignment of bearing	[r_y]			-0.045	mrad (-0.16')
Misalignment of bearing	[r_z]			0.064	mrad (0.22')
Misalignment of bearing	[r_r]			0.377	mrad (1.3')
Shaft 'kolo' Rolling bearing 'RollerBearing6'					
Position (Y-coordinate)	[y]	149.00	mm		
Dynamic equivalent load	[P]	18.57	kN		
Static equivalent load	[P_0]			18.57	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Life modification factor for reliability[a_1]				1.000	
Results according to ISO 281:					
Lubricant	ISOFLEX PDB 38 CX 1000				
Load ratio	[C/P]			23.211	
Operating viscosity	[v]			6.072	mm²/s
Reference viscosity	[v_1]			0.000	mm²/s
Viscosity ratio	[κ]			0.000	
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			9.3388e+05	h
Static safety factor	[S_0]			26.39	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			1.8438e+06	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			13.83	
Static safety factor	[S_{0ref}]			20.01	
Static equivalent load	[P_{0ref}]			24.49	kN
Bearing reaction force	[Fx]	5.633	kN		
Bearing reaction force	[Fy]	4.945	kN		

Bearing reaction force	[Fz]	17.694	kN		
Bearing reaction force	[Fr]	18.569	kN	(72.34°)	
Bearing reaction moment	[Mx]	354.84	Nm		
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm		
Bearing reaction moment	[Mz]	-112.59	Nm		
Bearing reaction moment	[Mr]	372.27	Nm	(-17.6°)	
Oil level	[H]	0.000	mm		
Load-independent moment of friction	[M_0]			0.192	Nm
Load-dependent moment of friction	[M_1]			0.877	Nm
Moment of friction, cylindrical roller bearing	[M_2]			0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 4000/IV T DE:1994					
Torque of friction	[M_{loss}]			1.070	Nm
Power loss	[P_{loss}]			71.322	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.					
The factors used to calculate the torque loss have been assumed for this bearing.					
Displacement of bearing	[u_x]			-9.720	µm
Displacement of bearing	[u_y]			47.720	µm
Displacement of bearing	[u_z]			-28.255	µm
Displacement of bearing	[u_r]			29.880	µm (-108.98°)
Misalignment of bearing	[r_x]			-0.313	mrad (-1.08')
Misalignment of bearing	[r_y]			-0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_z]			0.064	mrad (0.22')
Misalignment of bearing	[r_r]			0.320	mrad (1.1')
Bearing 'Con_ko_sh4'					
Position (Y-coordinate)	[y]	159.00	mm		
Bearing reaction force	[Fx]	3.975	kN		
Bearing reaction force	[Fy]	0.001	kN		
Bearing reaction force	[Fz]	7.028	kN		
Bearing reaction force	[Fr]	8.074	kN	(60.51°)	
Bearing reaction moment	[Mx]	1363.59	Nm		
Bearing reaction moment	[My]	-702.24	Nm		
Bearing reaction moment	[Mz]	-779.04	Nm		
Bearing reaction moment	[Mr]	1570.43	Nm	(-29.74°)	
Displacement of bearing	[u_x]			0.000	µm
Displacement of bearing	[u_y]			0.000	µm
Displacement of bearing	[u_z]			0.000	µm
Displacement of bearing	[u_r]			0.000	µm
Misalignment of bearing	[r_x]			0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_y]			0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_z]			0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_r]			0.000	mrad (0')

Damage (%) [Lreq] (1200.000)

Bin no	B1	B2
1	0.10	0.07
Σ	0.10	0.07

Utilization (%) [Lreq] (1200.000)

B1	B2
12.43	11.07

Note: Utilization = (Lreq/Lh)^(1/k)
Ball bearing: k = 3, roller bearing: k = 10/3
B1 : RollerBearing5
B2 : RollerBearing6

Calculation of the factors required to define reliability R(t) using the Weibull distribution. t in (h):
Calculation method: Bertsche

Bearing	p	fac	b	t0	T	R(H)%
1	Bearing	37	135	9.167e+06	2.034e+08	100.00
2	Bearing	25	135	9.167e+06	2.034e+08	100.00

Reliability of the configuration for required service life (%) 99.00

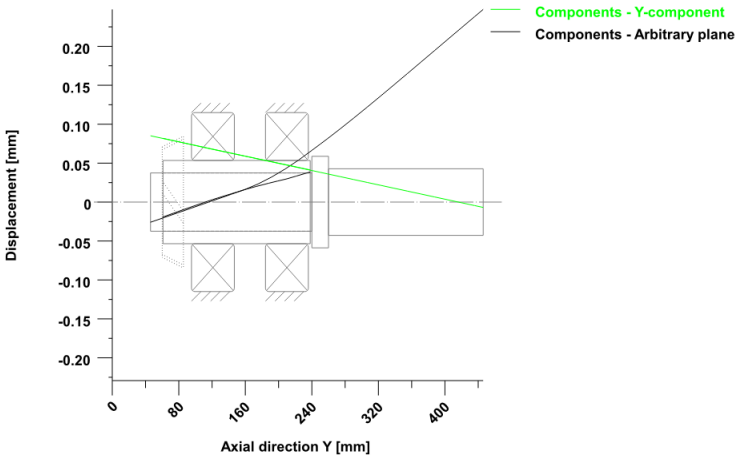
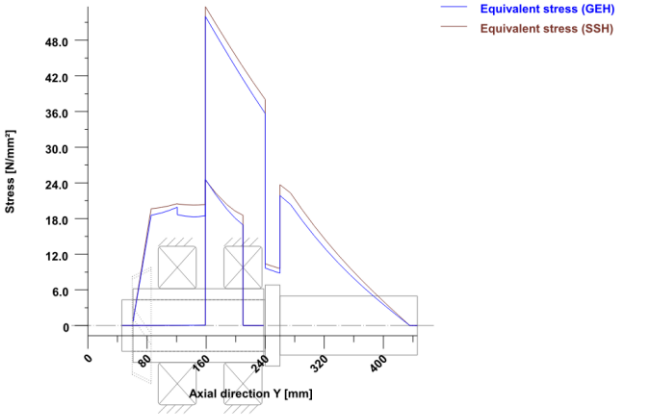


Figure: Deformation (bending etc.) (Arbitrary plane 247.9240093 124)



Nominal stresses, without taking into account stress concentrations
GEH(von Mises): sigV = ((sigB+sigZ,D)^2 + 3*(tauT+tauS)^2)^1/2
SSH(Tresca): sigV = ((sigB-sigZ,D)^2 + 4*(tauT+tauS)^2)^1/2
Figure: Equivalent stress

End of Report lines: 414

PŘÍLOHA č. 5

Zpráva výpočtu vřetene z programu KISSsoft

KISSsoft Release 2020 A.1

KISSsoft – student license (not for commercial use)

File

Name : Unnamed
Changed by: Uzivatel on: 07.05.2021 at: 19:45:55

Analysis of shafts, axle and beams

Input data

Coordinate system shaft:		see picture W-002	
Label		brus_kot	
Drawing			
Initial position (mm)			-72.000
Length (mm)			80.000
Speed (1/min)			636.62
Direction of rotation:		counterclockwise	
Material		C45 (1)	
Young's modulus (N/mm²)			206000.000
Poisson's ratio nu			0.300
Density (kg/m³)			7830.000
Coefficient of thermal expansion	(10^-6/K)		11.500
Temperature (°C)			0.000
Weight of shaft (kg)			352.733
Weight of shaft, including additional masses (kg)			352.733
Mass moment of inertia (kg*m²)			39.816
Momentum of mass GD2 (Nm²)			1562.372
Label		kolo2	
Drawing			
Initial position (mm)			290.000
Length (mm)			467.000
Speed (1/min)			636.62
Direction of rotation:		counterclockwise	
Material		C45 (1)	
Young's modulus (N/mm²)			206000.000
Poisson's ratio nu			0.300
Density (kg/m³)			7830.000
Coefficient of thermal expansion	(10^-6/K)		11.500
Temperature (°C)			0.000
Weight of shaft (kg)			25.273
Weight of shaft, including additional masses (kg)			25.273
Mass moment of inertia (kg*m²)			0.079
Momentum of mass GD2 (Nm²)			3.099
Label		trn	
Drawing			
Initial position (mm)			-100.000
Length (mm)			130.000
Speed (1/min)			636.62
Direction of rotation:		counterclockwise	
Material		C45 (1)	
Young's modulus (N/mm²)			206000.000
Poisson's ratio nu			0.300
Density (kg/m³)			7830.000
Coefficient of thermal expansion	(10^-6/K)		11.500
Temperature (°C)			0.000
Weight of shaft (kg)			75.555
Weight of shaft, including additional masses (kg)			75.555
Mass moment of inertia (kg*m²)			1.066
Momentum of mass GD2 (Nm²)			41.817
Label		vreteno	
Drawing			
Initial position (mm)			-85.000
Length (mm)			842.000
Speed (1/min)			636.62
Direction of rotation:		counterclockwise	
Material		C45 (1)	
Young's modulus (N/mm²)			206000.000
Poisson's ratio nu			0.300
Density (kg/m³)			7830.000
Coefficient of thermal expansion	(10^-6/K)		11.500
Temperature (°C)			0.000
Weight of shaft (kg)			46.601
Weight of shaft, including additional masses (kg)			46.601
Mass moment of inertia (kg*m²)			0.087
Momentum of mass GD2 (Nm²)			3.420

Weight towards		0.000	
Weight towards		0.000	
Weight towards			-1.000
Consider deformations due to shearing			
Shear correction factor		1.100	
Rolling bearing stiffness is calculated from inner bearing geometry			
Tolerance field:	Mean value		
Reference temperature (°C)		20.000	

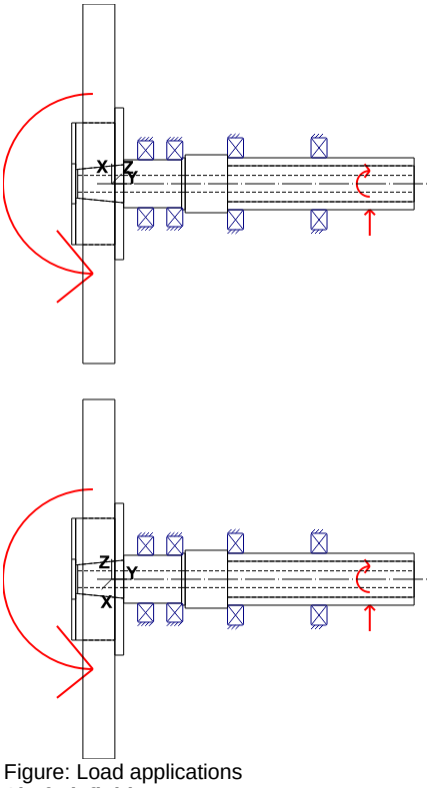


Figure: Load applications

Shaft definition		**(brus_kot)**	
Outer contour			
Cylinder (Cylinder)		**0.000 mm ... 80.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]	900.0000	
Length (mm)	[l]	80.0000	
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000	
Inner contour			
Cylindrical bore (Cylindrical bore)	**0.000 mm ... 80.000 mm**		
Diameter (mm)	[d]	305.0000	
Length (mm)	[l]	80.0000	
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000	
Forces			
Type of force element		**Coupling**	
Label in the model		Coupling3(Boundary2)	
Position on shaft (mm)	[y_{local}]	25.0000	
Position in global system (mm)	[y_{global}]	-47.0000	
Effective diameter (mm)		55.0000	
Radial force factor (-)		0.0000	
Direction of the radial force (°)		0.0000	
Axial force factor (-)		0.0000	
Length of load application (mm)		10.0000	
Power (kW)		46.8160	driving (output)
Torque (Nm)		702.2400	
Axial force (N)		0.0000	
Shearing force X (N)		0.0000	
Shearing force Z (N)		0.0000	
Bending moment X (Nm)		0.0000	
Bending moment Z (Nm)		0.0000	
Mass (kg)		0.0000	
Mass moment of inertia Jp (kg*m²)		0.0000	
Mass moment of inertia Jxx (kg*m²)		0.0000	
Mass moment of inertia Jzz (kg*m²)		0.0000	
Eccentricity (mm)		0.0000	
Type of force element		**Eccentric force**	

Label in the model			F1
Position on shaft (mm)	[y_{local}]		40.0000
Position in global system (mm)	[y_{global}]		-32.0000
Center point of load application, X-coordinate (mm)			-450.0000
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 (N)			0.0000
Shearing force X (N)			0.0000
Shearing force Z (N)			0.0000
Bending moment X (Nm)			0.0000
Bending moment Z (Nm)			-0.0000
Type of force element			**Centric force**
Label in the model			F2
Position on shaft (mm)	[y_{local}]		40.0000
Position in global system (mm)	[y_{global}]		-32.0000
Length of load application (mm)			0.0000
Power (kW)			0.0000
Torque (Nm)			0.0000
Axial force (N)			0.0000
Shearing force X (N)			0.0000
Shearing force Z (N)			0.0000
Bending moment X (Nm)			0.0000
Bending moment Z (Nm)			0.0000
Shaft definition		**(kolo2)**	
Outer contour			
Cylinder (Cylinder)			**0.000 mm ... 467.000 mm**
Diameter (mm)	[d]		130.0000
Length (mm)	[l]		467.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000
Inner contour			
Cylindrical bore (Cylindrical bore)		**0.000 mm ... 467.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]		90.0000
Length (mm)	[l]		467.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000
Forces			
Type of force element			**Rope sheave**
Label in the model			RopeSheave2(Belt_const1)
Position on shaft (mm)	[y_{local}]		356.0000
Position in global system (mm)	[y_{global}]		646.0000
Direction of belt force (°)			60.0000
Sheave diameter (mm)			265.0000
Length of load application (mm)			161.5000
Power (kW)			46.8160 driven (input)
Torque (Nm)			-702.2400
Axial force (N)			0.0000
Shearing force X (N)			3975.2362
Shearing force Z (N)			6885.3111
Bending moment X (Nm)			0.0000
Bending moment Z (Nm)			0.0000
Sum of the belt forces (N)			7950.4724
Bearing			

Label in the model		RollerBearing15
Bearing type		SKF 7226 BGAF
Bearing type		Angular contact ball bearing (single row)
Bearing position (mm)	[y_{lokal}]	20.000
Bearing position (mm)	[y_{global}]	310.000
Attachment of external ring		Set fixed bearing right
Inner diameter (mm)	[d]	130.000
External diameter (mm)	[D]	230.000
Width (mm)	[b]	40.000
Corner radius (mm)	[r]	3.000
Number of rolling bodies	[Z]	16
Rolling body reference circle (mm)	[D_{pw}]	180.000
Diameter rolling body (mm)	[D_w]	31.750
Distance a (mm)	[a]	96.000
Diameter, external race (mm)	[d_o]	212.121
Diameter, internal race (mm)	[d_i]	147.879
Radius of curvature, external race (mm)	[r_o]	16.828
Radius of curvature, internal race (mm)	[r_i]	16.510

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)56.0000			
Basic static load rating (kN)	[C_0]		193.000
Basic dynamic load rating (kN)	[C]		186.000
Fatigue load limit (kN)	[C_u]		6.100
Values for approximated geometry:			
Basic dynamic load rating (kN)	[C_{theo}]		185.035
Basic static load rating (kN)	[C_{0theo}]		191.481
Correction factor Basic dynamic load rating	[f_C]		1.000
Correction factor Basic static load rating	[f_{C0}]		1.000

Label in the model		RollerBearing16	
Bearing type		SKF 7226 BGAM	
Bearing type		Angular contact ball bearing (single row)	
Bearing position (mm)	[y_{lokal}]		229.000
Bearing position (mm)	[y_{global}]		519.000
Attachment of external ring		Set fixed bearing left	
Inner diameter (mm)	[d]		130.000
External diameter (mm)	[D]		230.000
Width (mm)	[b]		40.000
Corner radius (mm)	[r]		3.000
Number of rolling bodies	[Z]		16
Rolling body reference circle (mm)	[D_{pw}]		180.000
Diameter rolling body (mm)	[D_w]		31.750
Distance a (mm)	[a]		96.000
Diameter, external race (mm)	[d_o]		212.121
Diameter, internal race (mm)	[d_i]		147.879
Radius of curvature, external race (mm)	[r_o]		16.828
Radius of curvature, internal race (mm)	[r_i]		16.510

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) 305.0000

Basic static load rating (kN)	[C_0]		193.000
Basic dynamic load rating (kN)	[C]		186.000
Fatigue load limit (kN)	[C_u]		6.100
Values for approximated geometry:			
Basic dynamic load rating (kN)	[C_{theo}]		185.035
Basic static load rating (kN)	[C_{0theo}]		191.481
Correction factor Basic dynamic load rating	[f_C]		1.000
Correction factor Basic static load rating	[f_{C0}]		1.000
Shaft definition		**(trn)**	
Outer contour			
Cylinder (Cylinder)		**0.000 mm ... 108.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]		305.0000
Length (mm)	[l]		108.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000
Cylinder (Cylinder)		**108.000 mm ... 130.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]		380.0000
Length (mm)	[l]		22.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000
Inner contour			
Cylindrical bore (Cylinder inside)		**0.000 mm ... 10.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]		100.0000
Length (mm)	[l]		10.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000
Conical bore (Conical bore)		**10.000 mm ... 130.000 mm**	
Diameter left (mm)	[d_l]		71.2500
Diameter right (mm)	[d_r]		95.2500
Length (mm)	[l]		120.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000
Shaft definition		**(vreteno)**	
Outer contour			
Cone (Taper)		**0.000 mm ... 115.000 mm**	
Diameter left (mm)	[d_l]		72.2500
Diameter right (mm)	[d_r]		95.2500
Length (mm)	[l]		115.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000

Cylinder (Cylinder)		**115.000 mm ... 260.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]		120.0000
Length (mm)	[l]		145.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000
Cylinder (Cylinder)		**260.000 mm ... 269.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]		130.0000
Length (mm)	[l]		9.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000
Cylinder (Cylinder)		**269.000 mm ... 375.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]		145.0000
Length (mm)	[l]		106.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000
Cylinder (Cylinder)		**375.000 mm ... 842.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]		90.0000
Length (mm)	[l]		467.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000
Inner contour			
Cylindrical bore (Cylinder inside)		**0.000 mm ... 842.000 mm**	
Diameter (mm)	[d]		42.0000
Length (mm)	[l]		842.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]		8.0000
Bearing			

Label in the model		RollerBearing3	
Bearing type		SKF 7224 ACD/HCP4A	
Bearing type		Angular contact ball bearing (single row)	
Bearing position (mm)	[y_{lokal}]		170.000
Bearing position (mm)	[y_{global}]		85.000
Attachment of external ring		Set fixed bearing right	
Inner diameter (mm)	[d]		120.000
External diameter (mm)	[D]		215.000
Width (mm)	[b]		40.000
Corner radius (mm)	[r]		2.100
Number of rolling bodies	[Z]		15
Rolling body reference circle (mm)	[D_{pw}]		168.571
Diameter rolling body (mm)	[D_w]		30.162
Distance a (mm)	[a]		59.600
Diameter, external race (mm)	[d_o]		198.874
Diameter, internal race (mm)	[d_i]		138.268
Radius of curvature, external race (mm)	[r_o]		15.986
Radius of curvature, internal race (mm)	[r_i]		15.684
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)
			130.4000
Pretension force (N)	[F_V]		-1300.000
Bearing offset, Y-direction (mm)	[δ_y]		-0.012
Basic static load rating (kN)	[C_0]		183.000
Basic dynamic load rating (kN)	[C]		190.000
Fatigue load limit (kN)	[C_u]		6.000
Values for approximated geometry:			
Basic dynamic load rating (kN)	[C_{theo}]		189.164
Basic static load rating (kN)	[C_{0theo}]		183.743
Correction factor Basic dynamic load rating	[f_C]		1.000
Correction factor Basic static load rating	[f_{C0}]		1.000

Label in the model		RollerBearing8	
Bearing type		SKF 7224 ACD/HCP4A	
Bearing type		Angular contact ball bearing (single row)	
Bearing position (mm)	[y_{lokal}]		243.000
Bearing position (mm)	[y_{global}]		158.000
Attachment of external ring		Set fixed bearing left	
Inner diameter (mm)	[d]		120.000
External diameter (mm)	[D]		215.000
Width (mm)	[b]		40.000
Corner radius (mm)	[r]		2.100
Number of rolling bodies	[Z]		15
Rolling body reference circle (mm)	[D_{pw}]		168.571
Diameter rolling body (mm)	[D_w]		30.162

Distance a (mm)	[a]			59.600	
Diameter, external race (mm)	[d_o]			198.874	
Diameter, internal race (mm)	[d_i]			138.268	
Radius of curvature, external race (mm)	[r_o]			15.986	
Radius of curvature, internal race (mm)	[r_i]			15.684	

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
)

282.

6000

Pretension force (N)	[F_V]			1300.000	
Bearing offset, Y-direction (mm)	[δ_y]			0.012	
Basic static load rating (kN)	[C_0]			183.000	
Basic dynamic load rating (kN)	[C]			190.000	
Fatigue load limit (kN)	[C_u]			6.000	
Values for approximated geometry:					
Basic dynamic load rating (kN)	[C_{theo}]			189.164	
Basic static load rating (kN)	[C_{0theo}]			183.743	
Correction factor Basic dynamic load rating	[f_C]			1.000	
Correction factor Basic static load rating	[f_{C0}]			1.000	

CONNECTIONS

(Con_brus_trn) **-27.000 mm**
Degrees of freedom
X: fixedY: fixedZ: fixed
Rx: fixedRy: fixedRz: fixed

(Con_ko2_vret) **660.000 mm**
Degrees of freedom
X: fixedY: freeZ: fixed
Rx: fixedRy: fixedRz: fixed

(Con_trn_vret) **-18.000 mm**
Degrees of freedom
X: fixedY: fixedZ: fixed
Rx: fixedRy: fixedRz: fixed

Results

Shaft

Maximum deflection 39.987(µm) (kolo2 pos = 757.000 mm)
Mass center of gravity

brus_kot (mm)	40.000
kolo2 (mm)	233.500
trn(mm)	69.725
vreteno (mm)	379.625
Total axial load	
brus_kot (N)	0.000
kolo2 (N)	0.000
trn(N)	0.000
vreteno (N)	0.000
Torsion under torque	
brus_kot (°)	-0.000
kolo2 (°)	0.000
trn(°)	-0.000
vreteno (°)	-0.039

Bearing

Probability of failure	[n]	10.00	%		
Axial clearance (ISO 281)	[u_A]			10.00	µm
Lubricant	ISOFLEX TOPAS L 32				
Lubricant - service temperature	[T_B]			60.00	°C

Rolling bearing rating life according to ISO/TS 16281:2008

Shaft 'kolo2' Rolling bearing 'RollerBearing15'

Position (Y-coordinate)	[y]	20.00	mm		
Dynamic equivalent load	[P]	7.13	kN		
Static equivalent load	[P_0]			3.51	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Spin to roll ratio	[ω_s/ω_roll]	0.204			
Life modification factor for reliability	[a_1]			1.000	

Results according to ISO 281:

Lubricant	ISOFLEX TOPAS L 32				
Load ratio	[C/P]			26.087	
Operating viscosity	[v]			9.138	mm²/s
Reference viscosity	[v_1]			0.000	mm²/s

Viscosity ratio	[κ]			0.000	
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			4.6479e+05	h
Static safety factor	[S_0]			54.92	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			8.9976e+05	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			59.39	
Static safety factor	[S_{0ref}]			34.06	
Static equivalent load	[P_{0ref}]			5.67	kN
Bearing reaction force	[Fx]	0.414	kN		
Bearing reaction force	[Fy]	-12.036	kN		
Bearing reaction force	[Fz]	0.649	kN		
Bearing reaction force	[Fr]	0.770	kN (57.45°)		
Bearing reaction moment	[Mx]	-53.73	Nm		
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm		
Bearing reaction moment	[Mz]	33.89	Nm		
Bearing reaction moment	[Mr]	63.53	Nm (147.76°)		
Oil level	[H]	0.000	mm		
Load-independent moment of friction	[M_0]			0.252	Nm
Load-dependent moment of friction	[M_1]			0.402	Nm
Moment of friction, cylindrical roller bearing	[M_2]			0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 4000/IV T DE:1994					
Torque of friction	[M_{loss}]			0.653	Nm
Power loss	[P_{loss}]			43.551	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.					
Displacement of bearing	[u_x]			1.295	µm
Displacement of bearing	[u_y]			25.116	µm
Displacement of bearing	[u_z]			2.626	µm
Displacement of bearing	[u_r]			2.928	µm (63.75°)
Misalignment of bearing	[r_x]			0.052	mrad (0.18')
Misalignment of bearing	[r_y]			-0.699	mrad (-2.4')
Misalignment of bearing	[r_z]			-0.028	mrad (-0.1')
Misalignment of bearing	[r_r]			0.059	mrad (0.2')
Shaft 'kolo2' Rolling bearing 'RollerBearing16'					
Position (Y-coordinate)	[y]	229.00	mm		
Dynamic equivalent load	[P]	10.04	kN		
Static equivalent load	[P_0]			9.09	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Spin to roll ratio	[ω_s/ω_roll]	0.203			
Life modification factor for reliability	[a_1]			1.000	
Results according to ISO 281:					
Lubricant	ISOFLEX TOPAS L 32				
Load ratio	[C/P]			18.519	
Operating viscosity	[v]			9.138	mm²/s
Reference viscosity	[v_1]			0.000	mm²/s
Viscosity ratio	[κ]			0.000	
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			1.6628e+05	h
Static safety factor	[S_0]			21.22	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			2.2815e+05	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			26.37	
Static safety factor	[S_{0ref}]			15.16	
Static equivalent load	[P_{0ref}]			12.73	kN
Bearing reaction force	[Fx]	-4.346	kN		
Bearing reaction force	[Fy]	12.036	kN		
Bearing reaction force	[Fz]	-7.989	kN		
Bearing reaction force	[Fr]	9.095	kN (-118.55°)		
Bearing reaction moment	[Mx]	-611.04	Nm		
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm		
Bearing reaction moment	[Mz]	332.49	Nm		
Bearing reaction moment	[Mr]	695.64	Nm (151.45°)		
Oil level	[H]	0.000	mm		
Load-independent moment of friction	[M_0]			0.252	Nm
Load-dependent moment of friction	[M_1]			0.512	Nm
Moment of friction, cylindrical roller bearing	[M_2]			0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 4000/IV T DE:1994					
Torque of friction	[M_{loss}]			0.763	Nm
Power loss	[P_{loss}]			50.871	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.					
Displacement of bearing	[u_x]			7.593	µm
Displacement of bearing	[u_y]			-21.187	µm
Displacement of bearing	[u_z]			14.134	µm
Displacement of bearing	[u_r]			16.045	µm (61.75°)
Misalignment of bearing	[r_x]			0.063	mrad (0.22')

Misalignment of bearing	[r_y]			-0.699	mrad (-2.4')
Misalignment of bearing	[r_z]			-0.035	mrad (-0.12')
Misalignment of bearing	[r_r]			0.072	mrad (0.25')
Shaft 'vreteno' Rolling bearing 'RollerBearing3'					
Position (Y-coordinate)	[y]	170.00	mm		
Dynamic equivalent load	[P]	5.11	kN		
Static equivalent load	[P_0]			5.01	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Spin to roll ratio	[ω_s/ω_roll]	0.134			
Life modification factor for reliability	[a_1]			1.000	
Results according to ISO 281:					
Lubricant	ISOFLEX TOPAS L 32				
Load ratio	[C/P]			37.187	
Operating viscosity	[v]			9.138	mm²/s
Reference viscosity	[v_1]			0.000	mm²/s
Viscosity ratio	[κ]			0.000	
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			1.3463e+06	h
Static safety factor	[S_0]			36.51	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			1.5207e+06	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			45.56	
Static safety factor	[S_{0ref}]			32.05	
Static equivalent load	[P_{0ref}]			5.71	kN
Bearing reaction force	[Fx]	0.425	kN		
Bearing reaction force	[Fy]	-3.511	kN		
Bearing reaction force	[Fz]	4.994	kN		
Bearing reaction force	[Fr]	5.012	kN (85.14°)		
Bearing reaction moment	[Mx]	-202.06	Nm		
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm		
Bearing reaction moment	[Mz]	17.29	Nm		
Bearing reaction moment	[Mr]	202.80	Nm (175.11°)		
Oil level	[H]	0.000	mm		
Load-independent moment of friction	[M_0]			0.203	Nm
Load-dependent moment of friction	[M_1]			0.179	Nm
Moment of friction, cylindrical roller bearing	[M_2]			0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 4000/IV T DE:1994					
Torque of friction	[M_{loss}]			0.382	Nm
Power loss	[P_{loss}]			25.465	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.					
Displacement of bearing	[u_x]			-0.569	µm
Displacement of bearing	[u_y]			5.662	µm
Displacement of bearing	[u_z]			-9.454	µm
Displacement of bearing	[u_r]			9.471	µm (-93.44°)
Misalignment of bearing	[r_x]			0.084	mrad (0.29')
Misalignment of bearing	[r_y]			-0.089	mrad (-0.31')
Misalignment of bearing	[r_z]			-0.013	mrad (-0.04')
Misalignment of bearing	[r_r]			0.085	mrad (0.29')
Shaft 'vreteno' Rolling bearing 'RollerBearing8'					
Position (Y-coordinate)	[y]	243.00	mm		
Dynamic equivalent load	[P]	3.30	kN		
Static equivalent load	[P_0]			1.63	kN
Minimum EHL lubricant film thickness	[h_{min}]			0.000	µm
Spin to roll ratio	[ω_s/ω_roll]	0.135			
Life modification factor for reliability	[a_1]			1.000	
Results according to ISO 281:					
Lubricant	ISOFLEX TOPAS L 32				
Load ratio	[C/P]			57.612	
Operating viscosity	[v]			9.138	mm²/s
Reference viscosity	[v_1]			0.000	mm²/s
Viscosity ratio	[κ]			0.000	
Basic bearing rating life	[L_{nh}]			5.0062e+06	h
Static safety factor	[S_0]			112.19	
Calculation with approximate bearings internal geometry					
Operating bearing clearance	[Pd]			0.000	µm
Reference rating life	[L_{nrh}]			6.7327e+06	h
Effective static safety factor	[S_{0w}]			105.28	
Static safety factor	[S_{0ref}]			73.86	
Static equivalent load	[P_{0ref}]			2.48	kN
Bearing reaction force	[Fx]	-0.468	kN		
Bearing reaction force	[Fy]	3.511	kN		
Bearing reaction force	[Fz]	0.366	kN		
Bearing reaction force	[Fr]	0.594	kN (141.95°)		
Bearing reaction moment	[Mx]	13.08	Nm		
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm		

Bearing reaction moment	[Mz]	19.25	Nm			
Bearing reaction moment	[Mr]	23.27	Nm	(55.8°)		
Oil level	[H]	0.000	mm			
Load-independent moment of friction	[M_0]				0.203	Nm
Load-dependent moment of friction	[M_1]				0.085	Nm
Moment of friction, cylindrical roller bearing	[M_2]				0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 4000/IV T DE:1994						
Torque of friction	[M_{loss}]				0.288	Nm
Power loss	[P_{loss}]				19.194	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.						
Displacement of bearing	[u_x]				0.376	µm
Displacement of bearing	[u_y]				-11.003	µm
Displacement of bearing	[u_z]				-3.755	µm
Displacement of bearing	[u_r]				3.774	µm (-84.29°)
Misalignment of bearing	[r_x]				0.074	mrad (0.26')
Misalignment of bearing	[r_y]				-0.121	mrad (-0.42')
Misalignment of bearing	[r_z]				-0.014	mrad (-0.05')
Misalignment of bearing	[r_r]				0.076	mrad (0.26')
Bearing 'Con_brus_trn'						
Position (Y-coordinate)	[y]	-27.00	mm			
Bearing reaction force	[Fx]	0.000	kN			
Bearing reaction force	[Fy]	-0.000	kN			
Bearing reaction force	[Fz]	-3.460	kN			
Bearing reaction force	[Fr]	3.460	kN	(-90°)		
Bearing reaction moment	[Mx]	17.26	Nm			
Bearing reaction moment	[My]	702.24	Nm			
Bearing reaction moment	[Mz]	0.01	Nm			
Bearing reaction moment	[Mr]	17.26	Nm	(0.02°)		
Displacement of bearing	[u_x]				0.000	µm
Displacement of bearing	[u_y]				0.000	µm
Displacement of bearing	[u_z]				0.000	µm
Displacement of bearing	[u_r]				0.000	µm
Misalignment of bearing	[r_x]				0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_y]				0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_z]				0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_r]				0.000	mrad (0')
Bearing 'Con_ko2_vret'						
Position (Y-coordinate)	[y]	660.00	mm			
Bearing reaction force	[Fx]	0.043	kN			
Bearing reaction force	[Fy]	0.000	kN			
Bearing reaction force	[Fz]	-0.703	kN			
Bearing reaction force	[Fr]	0.704	kN	(-86.46°)		
Bearing reaction moment	[Mx]	171.90	Nm			
Bearing reaction moment	[My]	-702.24	Nm			
Bearing reaction moment	[Mz]	-45.74	Nm			
Bearing reaction moment	[Mr]	177.88	Nm	(-14.9°)		
Displacement of bearing	[u_x]				0.000	µm
Displacement of bearing	[u_y]				-72.846	µm
Displacement of bearing	[u_z]				0.000	µm
Displacement of bearing	[u_r]				0.000	µm
Misalignment of bearing	[r_x]				0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_y]				0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_z]				0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_r]				0.000	mrad (0')
Bearing 'Con_trn_vret'						
Position (Y-coordinate)	[y]	-18.00	mm			
Bearing reaction force	[Fx]	-0.000	kN			
Bearing reaction force	[Fy]	0.000	kN			
Bearing reaction force	[Fz]	4.200	kN			
Bearing reaction force	[Fr]	4.200	kN	(90°)		
Bearing reaction moment	[Mx]	-57.47	Nm			
Bearing reaction moment	[My]	-702.24	Nm			
Bearing reaction moment	[Mz]	-0.01	Nm			
Bearing reaction moment	[Mr]	57.47	Nm	(-179.99°)		
Displacement of bearing	[u_x]				0.000	µm
Displacement of bearing	[u_y]				0.000	µm
Displacement of bearing	[u_z]				0.000	µm
Displacement of bearing	[u_r]				0.000	µm
Misalignment of bearing	[r_x]				0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_y]				0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_z]				-0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r_r]				0.000	mrad (0')

Damage (%) [Lreq] (1200.000)

Bin no	B1	B2	B3	B4
1	0.13	0.53	0.08	0.02

Σ 0.13 0.53 0.08 0.02
Utilization (%) [Lreq] (1200.000)
B1 B2 B3 B4
11.01 17.39 9.24 5.63
Note: Utilization = (Lreq/Lh)^(1/k)
Ball bearing: k = 3, roller bearing: k = 10/3
B1 : RollerBearing15
B2 : RollerBearing16
B3 : RollerBearing3
B4 : RollerBearing8

Calculation of the factors required to define reliability R(t) using the Weibull distribution. t in (h):

Calculation method: Bertsche

Bearing	p	fac	b	t0	T	R(H)%
1	Bearing	51	110	9.167e+06	2.928e+08	100.00
2	Bearing	201	110	9.167e+06	2.928e+08	100.00
3	Bearing	30	110	9.167e+06	2.928e+08	100.00
4	Bearing	7	110	9.167e+06	2.928e+08	100.00

Reliability of the configuration for required service life (%) 99.00

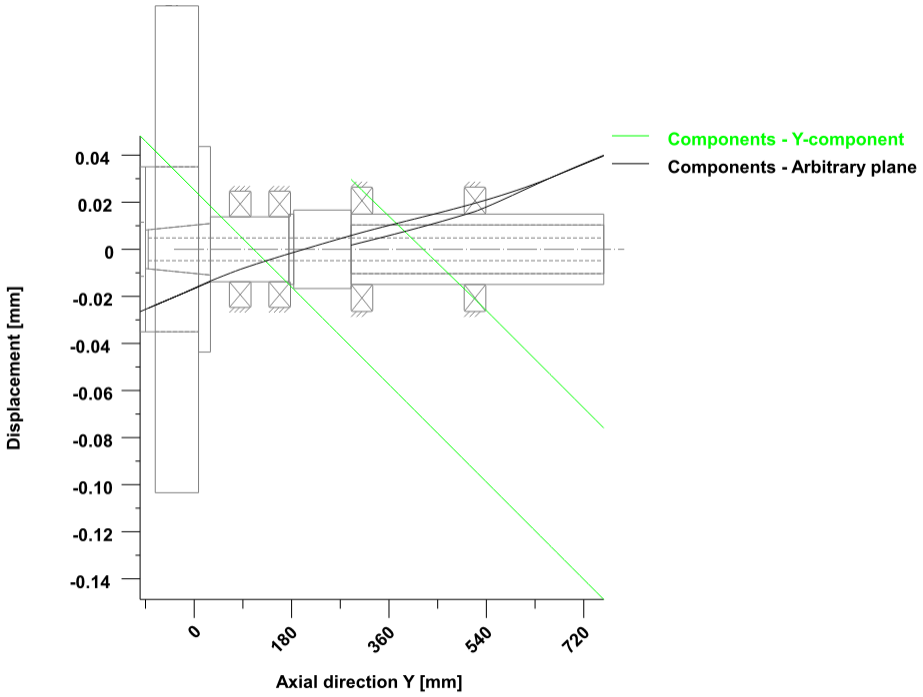
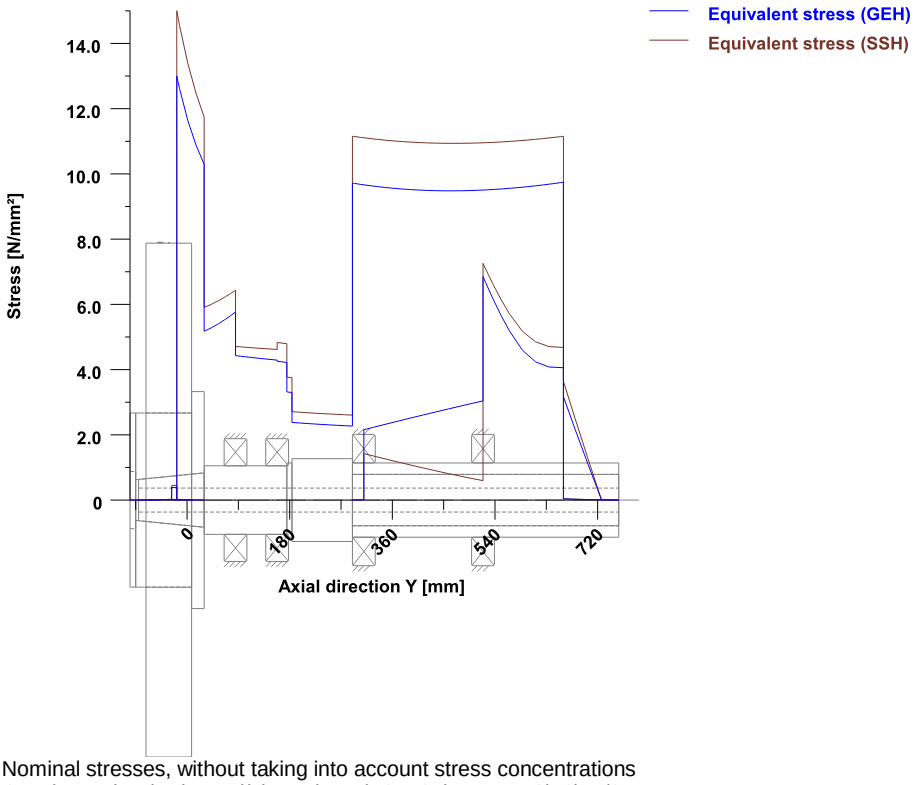


Figure: Deformation (bending etc.) (Arbitrary plane 60.81062741 124)



Nominal stresses, without taking into account stress concentrations
GEH(von Mises): sigV = ((sigB+sigZ,D)^2 + 3*(tauT+tauS)^2)^1/2
SSH(Tresca): sigV = ((sigB-sigZ,D)^2 + 4*(tauT+tauS)^2)^1/2
Figure: Equivalent stress

Strength calculation according to DIN 743:2012

Summary
brus_kot

Material	C45 (1)
Material type	Through hardened steel
Material treatment	unalloyed, through hardened
Surface treatment	No

Calculation of endurance limit and the static strength
Calculation for load case 2 (σav/σmv = const)

Cross section	Position (Y-Coord) (mm)	
Free cross section	54.60	Own Input

Results:

Cross section	βσ	KFσ	K2d	SD	SS
Free cross section	1.00	0.93	0.80	9999.99	9999.99
Required safeties:				1.20	1.20

Abbreviations:
βσ: Notch factor, bending
KFσ: Surface factor
K2d: size factor bending
SD: Safety endurance limit
SS: Safety against yield point

End of Report **lines: 809**

PŘÍLOHA č. 6

Zpráva výpočtu řemene z programu KISSsoft

KISSsoft Release 2020 A.1

KISSsoft – student license (not for commercial use)

File

Name : Unnamed
Changed by: Uzivatel on: 07.05.2021 at: 19:47:09

V-Belt calculation

Basis:		According to manufacturer data			
V-belt					
Type		XPC-High-performance v-belt-DIN 7753:1988/ISO 4184:1992-(CONTI-FO-Z)			
Elasticity (N)	[E]	280000.00			
Weight per length (kg/m)	[wl]	0.3700			
Length (mm)	[l]	2264.58			
Max. perm. Belt speed. (m/s)	[vmax]	50.00			
Number of belts	[neff]	6			
Theoretical no of belts	[nth]	5.82			
Sheave width (mm)	[b]	161.50			
Nominal power (kW)	[Pn]	70.22			
Operating factor	[f1]	1.00			
Operating power (kW)	[Pmax]	70.22			
Configuration with three rollers, tensioning pulley inside					
		Roller 1		Roller 2 Tensioning pulley	
		-------		-------	----------
Effective diameter (mm)	[dwk]	265.00		265.00	200.00
Loop (°)		147.17		158.78	54.05
Speed (1/min)	[n]	636.62		636.62	843.52
Service torque (Nm)	[T]	1053.44		1053.44	
Ratio	[n]	1.000			
Center distance (mm)	[a]	675.333			
Angle factor	[c1]	0.917			
Length factor	[c3]	0.862			
Load coefficient for input to the fast	[f2]	1.000			
Nominal power acc. catalogue (kW)	[P]	15.266			
Additional power due to ratio (kW)	[dP]	0.000			
elt speed (m/s)	[v]	8.83			
Frequency of bending (Hz)	[fB]	7.80			
Slip (%)	[s]	0.47			
Circumferential force (from torque) (N)	[Fu]	1325.08			
Centrifugal force (N)	[Ff]	28.87			
Pretension according to catalog values					
Test force (N)	[Fe]	125.00			
Slack (mm)	[te]	15.80			
End of rope force in stand (N)	[Fstat]	1176.83			
End of rope force in no load/load (N)	[Ft]	485.42	/	1810.50	
Critical speed for no load / load (m/s)	[vcrit]	37.28	/	70.51	
Tension distance (mm)	[sw]	4.93			
		Sheave 1		Sheave 2	
		-------		-------	
Radial force in service (N)	[Fab]	13403.60		13618.93	
Radial force standing. (N)	[Fas]	13546.24		13880.56	
Pretension according to calculation with coefficient of friction (min: values)					
Calculation according to Niemann, Book III, with rope friction law					
Coefficient. of friction	[my]	1.40			
End of rope force in stand (N)	[Fstat]	728.79			
End of rope force in no load/load (N)	[Ft]	37.38	/	1362.46	
Critical speed for no load / load (m/s)	[vcrit]	13.38	/	61.32	
Tension distance (mm)	[sw]	3.05			
		Sheave 1		Sheave 2	
		-------		-------	
Radial force in service (N)	[Fab]	8364.07		8384.20	
Radial force standing. (N)	[Fas]	8388.91		8595.95	
Utilization: (%)	[A]	96.96			
Formula:		A = belt.nth / belt.neff * 100			

End of Report lines: 86

C-C
D-D
B-B
A-A
G-G
E
F-F
Ø900
Ø480
Ø1170,5
1065
1313
80
FAKULTA STROJNI ZAPADOCESKE UNIVERZITY V PLZNI
Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved
CAD 1
Datum / Date
Jmeno / Name
Kreslil / Drawn by
1.5.2021
David Fait
Prezkousel / Checked by
Schvalil / 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
bruska_DP
Soubor-vykres / DRW-file
bruska_DP
Projekt / Project:
Diplomova prace
C.sestavy / Assembly No.
Meritko / Scale
1:5
Nazev / Title
BRUSKA BSMT1

Rev.
Cislo vykresu / Drawing No.
DP_001
List / sheet no. 1
Pocet listu / sheets 4
Format
A0

Poz.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material konecny/vychozi	T.O.	Hr.hmot	Cislo vykresu	Pocet ks.
Pos.	Title - size	Blank	End material/Start material	C.W.	R.weight	Drawing No.	Quant.
1	OTOCNA_SKRIN	ODLITEK	CSN 422640		719,32		1
2	PEVNA_SKRIN	ODLITEK	CSN 422640		224,17		1
3	KRYT_KOTOUCE	ODLITEK	CSN 422640		91,18		1
4	OB00057950-A PRIRUBA MULTITASK_STP				83,91		1
5	KLADKA	CSN 42 5510	CSN 11500		72,47		2
6	HRIDEL_4_VRETENO	CSN 42 5510	CSN 16220		70,04		1
7	DOLNI_NOSNA_DESKA	PLECH 50 - VYPALEK	S235JRG:CSN 11375		66,91		1
8	PRIRUBA_VRETENO_1	CSN 42 5510	CSN 11600		61,05		1
9	KRYT_KOTOUCE_VNEJSI	PLECH 10 - VYPALEK	S235JRG:CSN 11375		32,68		1
10	NAPINACI_KLADKA	CSN 42 5510	CSN 11500		32,65		1
11	DESKA	PLECH 8 - VYPALEK	S235JRG:CSN 11375		31,37		1
12	POUZDRO_1_HRIDEL2	CSN 42 5510	CSN 11600		20,35		1
13	HRIDEL3_VNITREK	CSN 42 5510	CSN 11600		17,53		1
14	HRIDEL2_ST	CSN 42 5510	CSN 11600		17,03		1
15	DISTANCNI_TRUBKA_VRETENO_1	CSN 42 5510	CSN 11600		15,87		1
16	POUZDRO_HORNI_HRIDEL 2	CSN 42 5510	CSN 11600		14,86		1
17	PRIRUBA_VRETENO_2	CSN 42 5510	CSN 11600		14,25		1
18	POUZDRO_HRIDEL3	CSN 42 5510	CSN 11600		13,51		1
19	HRIDEL_1	CSN 42 5510	CSN 16220		13,09		1
20	KOLO_3	CSN 42 5510	CSN 16220		12,17		1
21	HRIDEL_2	CSN 42 5510	CSN 16220		11,37		1
22	POUZDRO_VRETENO_1	CSN 42 5510	CSN 11600		11,36		1
23	POUZDRO1_HRIDEL1	CSN 42 5510	CSN 11600		9,67		1
24	PRIRUBA2_HRIDEL2	CSN 42 5510	CSN 11600		9,42		1
25	KRYT_REMENE	ODLITEK	AlSi9Cu3(Fe)		8,50		1
26	30320_STP				7,95		2
27	PREDEPINANI_LOZE	PLECH 10 - VYPALEK	S235JRG:CSN 11375		7,93		1
28	POUZDRO_VRETENO_LABYRINT3	CSN 42 5510	CSN 11600		7,75		1
29	HRIDEL_3	CSN 42 5510	CSN 16220		7,68		1
30	BRUSNY_KOTOUC	∅900 - 80			7,21		1
31	7226 BGAF_STP				6,95		2
32	PREDEPINANI_VIDLICE		CSN 11600		5,48		1
33	HRIDEL_PREDEPINANI	CSN 42 5510	CSN 11600		5,46		1
34	POUZDRO_S_LABYRINTEM	CSN 42 5510	CSN 11600		5,18		1
35	32220_STP				4,91		6
36	REMEN	2265 - 22	XPC - V BELT DIN 7753:1988		4,54		6
37	7224 ACD_HCP4A_STP				4,41		2
38	PRIRUBA_HLAVY	CSN 42 5510	CSN 11600		3,56		1
39	RNA 4838_STP				3,21		1
40	VICKO_HRIDEL3	CSN 42 5510	CSN 11600		3,20		1
41	DIS_TRUBKA_VR	CSN 425510	CSN 11600		3,10		1
42	VYVAZOVACI_HLAVA_STC_PR81_L149	∅55 - 155	MARPOSS - STCG		2,84		1
43	VICKO_HR2_HORNI	CSN 42 5510	CSN 11600		2,26		1
44	KROUZEK_DISTANCNI2_VRETENO	CSN 42 5510	CSN 11600		2,18		1

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name
Kreslil / Drawn by	1.5.2021	David Fait
Prezkousel / Checked by		
Schvalil / Approved by		

FAKULTA STROJNI
ZAPADOCESKE
UNIVERZITY
V PLZNI

Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved

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: bruska_DP

Soubor-vykres / DRW-file: bruska_DP

Projekt / Project: Diplomova prace

C.sestavy / Assembly No.

C.hmot.sestavy: 2016 kg

Meritko / Scale: - - -

Nazev / Title: BRUSKA BSMT1

Rev.

Cislo vykresu / Drawing No.: DP_001

List / sheet no. 2 Pocet listu / sheets 4

Format: A4

Poz.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material konecny/vychozi	T.O.	C.hmot	Cislo vykresu	Pocet ks.
Pos.	Title - size	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	Drawing No.	Quant.
45	NAPINACI_SROUB	CSN 42 5510	CSN 11600		1,16		1
46	KOSTKA_ROZVOD	CSN 42 5522.01	CSN 11375		1,00		1
47	TRUBKA2_PREDEPINANI	CSN 42 5510	CSN 11600		0,87		1
48	KROUZEK_DISTANCNI_HRIDEL1	CSN 42 5510	CSN 11600		0,83		1
49	KROUZEK_DISTANCNI_HRIDEL2	CSN 42 5510	CSN 11600		0,76		2
50	STUWE_SHRINK_DISC_TYPE_HSD	SERIES 20 - ∅60			0,73		1
51	KOLO2_MECH_OT_STP	CSN 42 5510	CSN 16220		0,61		1
52	DIS_PODLOZKA2_VR	CSN 42 5510	CSN 11600		0,59		1
53	MATICE_VRETENO	CSN 02 1401	CSN 17240		0,56		1
54	DIS_PODLOZKA2_HR2	CSN 42 5510	CSN 11600		0,55		1
55	HADICE2	∅6,7	POM		0,53		1
56	TP-1_4-M20X30-- OKO ZAVESNE TP 1_4 M20X30	DIN 580	CSN 12020		0,47		3
57	DIS_PODLOZKA_HR2	CSN 42 5510	CSN 11600		0,45		1
58	DIS_PODLOZKA1_VR	CSN 42 5510	CSN 11600		0,45		1
59	6012-RS1_STP				0,42		2
60	DIS_TRUBKA_HR4	CSN 42 5510	CSN 11600		0,33		1
61	DIS_TRUBKA_HR3	CSN 42 5510	CSN 11600		0,32		1
62	TRUBKA_PREDEPINANI	CSN 42 5510	CSN 11600		0,28		2
63	PERO	CSN 02 2562	CSN 11600		0,27		4
64	KOLO1_MECH_OT_STP	CSN 42 5510	CSN 16220		0,26		1
65	M16_UPINACI_SROUB	CSN 4762	CSN 17240		0,24		9
66	DIS_KROUZEK	CSN 42 5510	CSN 11600		0,20		1
67	HRADITKO	PLECH 1 - VYPALEK	S235JRG:CSN 11375		0,20		1
68	HADICE1	∅6,7	POM		0,17		3
69	OBJIMKA_M8_1	DIN 3567	CSN 11373.0		0,15		1
70	MATICE_M30	CSN 02 1401	CSN 17240		0,12		2
71	M10_100	CSN 4762	CSN 17240		0,08		4
72	MATICE_M20	CSN 02 1401	CSN 17240		0,07		1
73	PODLOZKA	CSN 02 1727	CSN 11600		0,07		1
74	SROUB_M12	CSN 4762	CSN 17240		0,06		20
75	PODLOZKA_HRIDEL3	CSN 02 1727	CSN 11600		0,06		1
76	VENTIL	G 1/4			0,06		1
77	MATICE_DO_T_DRAZKY	DIN 508 - M16			0,05		9
78	SROUB_M10	CSN 4762	CSN 17240		0,04		10
79	SROUB_M10_40	CSN 02 1101	CSN 17240		0,04		10
80	PODLOZKA2_NAPINANI	CSN 02 1727	CSN 11600		0,04		2
81	PODLOZKA_HRIDEL2	CSN 02 1727	CSN 11600		0,04		1
82	M10_25	CSN 4762	CSN 17240		0,03		8
83	POJISTNY KROUZEK ∅80	CSN 02 2930	CSN 15260		0,03		2
84	POUZDRO_PPMF	MATEZA 202321.5 ∅23	PPMF		0,02		1
85	SROUB_M8	CSN 4762	CSN 17240		0,02		7
86	SROUB_M8_VR	CSN 4762	CSN 17240		0,02		6
87	TRYSKA	∅6,7	POM		0,02		3
88	KONEKTOR_PRIRUBA	G 1/4	POM		0,02		1
89	M8_15	CSN 4762	CSN 17240		0,01		12

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name
Kreslil / Drawn by	1.5.2021	David Fait
Prezkousel / Checked by		
Schvalil / Approved by		

FAKULTA STROJNI
ZAPADOCESKE
UNIVERZITY
V PLZNI

Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved

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: bruska_DP

Soubor-vykres / DRW-file: bruska_DP

Projekt / Project: Diplomova prace

C.sestavy / Assembly No.

C.hmot.sestavy: 2016 kg

Meritko / Scale: - - -

Nazev / Title: BRUSKA BSMT1

Rev.

Cislo vykresu / Drawing No.: DP_001

List / sheet no. 3 Pocet listu / sheets 4

Format: A4

Poz. / Pos.	Nazev - rozmer / Title - size	Polotovar / Blank	Material konecny/vychozi / End material/Start material	T.O. / C.W.	C.hmot / Weight	Cislo vykresu / Drawing No.	Pocet ks. / Quant.
90	PRUZNA_PODLOZKA	CSN 02 1740.11	CSN 14260		0,01		6
91	M8_10	CSN 4762	CSN 17240		0,01		2
92	ZATKA	CSN 42 5510.12	CSN 11373		0,01		2
93	KONEKTOR	G 1/4	POM_1/4		0,01		5
94	LABYRINT_HR3	TFC - ∅110	CSN 11423		0,01		1
95	SROUB_M5	CSN 4762	CSN 17240		0,01		8
96	LABYRINT_VR2	TFC - ∅155	CSN 11423		0,01		1
97	LABYRINT_VR1	TFC - ∅165	CSN 11423		0,01		1
98	PRUZINA_NAPINANI	DIN 2093 ∅50	CSN 12090		0,01		2
99	MATICE_M10	CSN 02 1401	CSN 17240		0,01		1

CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name
Kreslil / Drawn by	1.5.2021	David Fait
Prezkousel / Checked by		
Schválil / Approved by		

FAKULTA STROJNI
ZAPADOCESKE
UNIVERZITY
V PLZNI

Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved

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: bruska_DP

Soubor-vykres / DRW-file: bruska_DP

Projekt / Project: Diplomova prace

C.sestavy / Assembly No.

C.hmot.sestavy: 2016 kg

Meritko / Scale: - - -

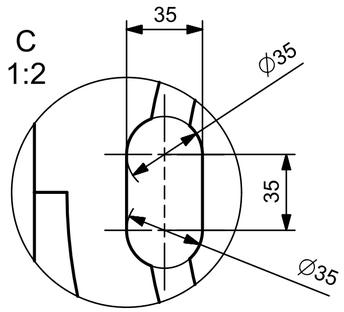
Nazev / Title: BRUSKA BSMT1

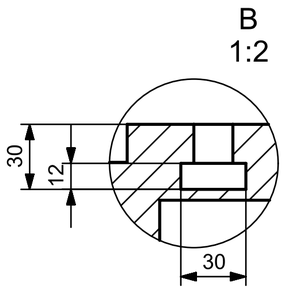
Rev.

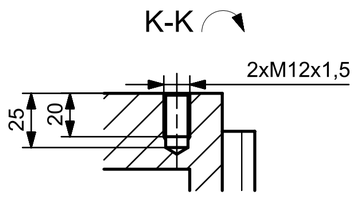
Cislo vykresu / Drawing No.: DP_001

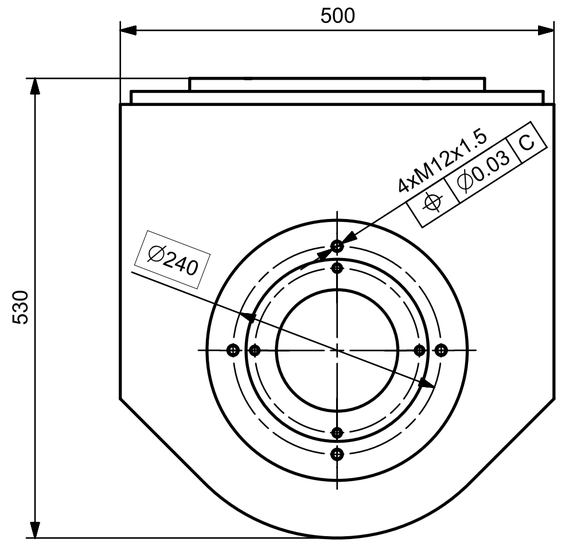
List / sheet no. 4 Pocet listu / sheets 4

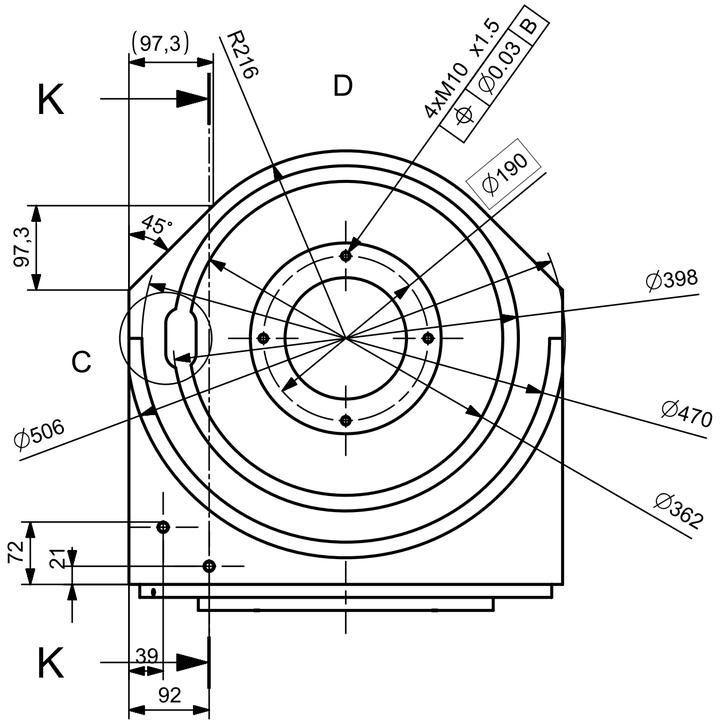
Format: A4

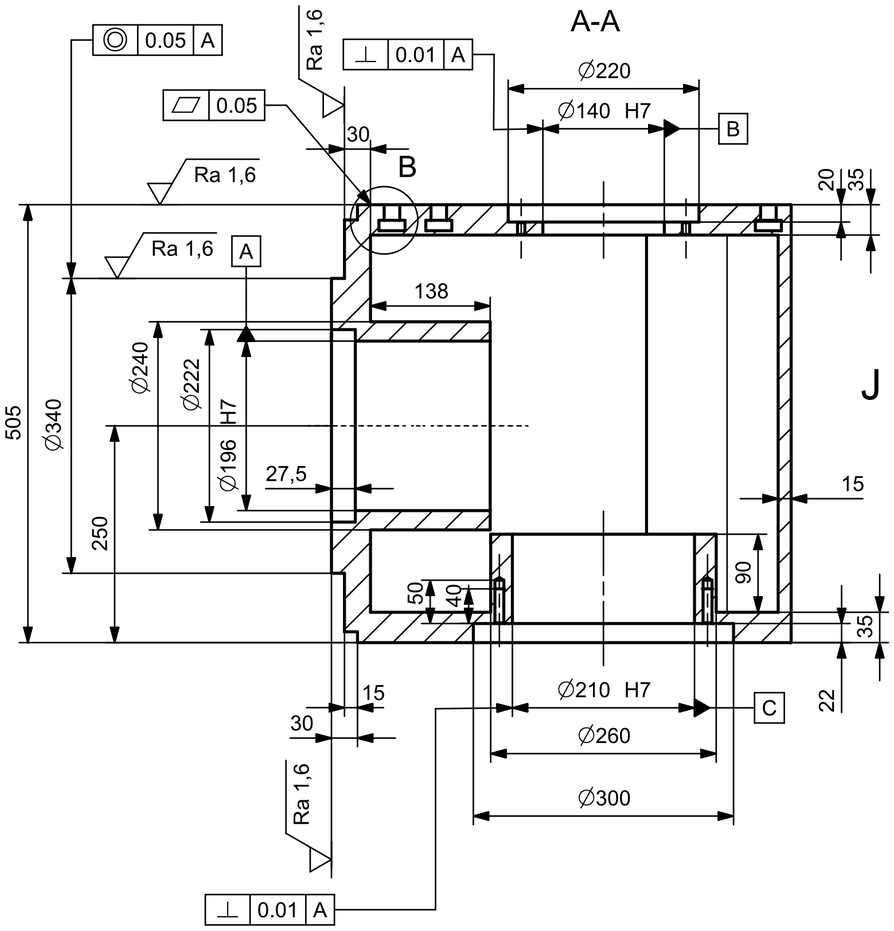


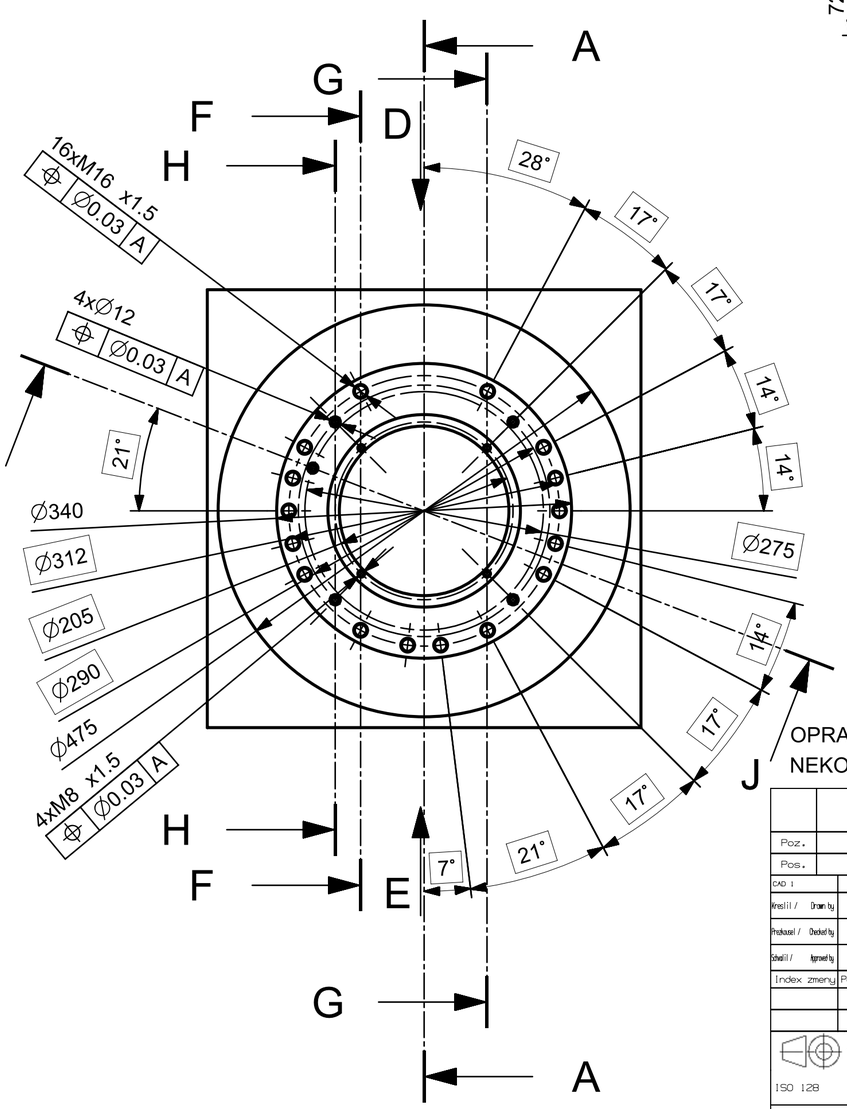


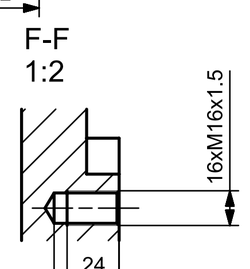


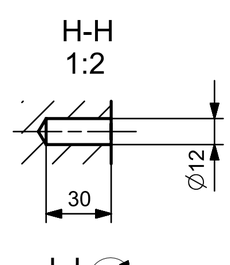


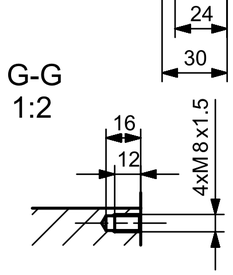


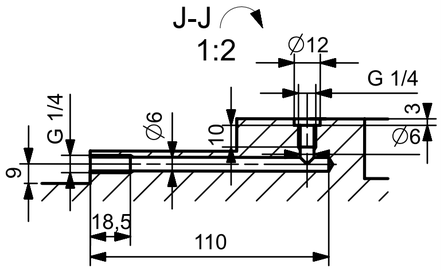












OPRACOVANI NEOZNACENYCH PLOCH Ra 6,3
NEKOTOVANE RADIUSY 1,5

		ODLITEK	CSN 42 2640					-
Poz.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material konecny/vychozi	T.O.	C.hmot.	H.hmot.	Cislo vykresu sestavy	Pocet ks.
Pos.	Title - size	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	R.weig.	Assembly drawing no.	Quant.

	Datum / Date	Jmeno / Name
CAD		
Kreslil / Drawn by	1.5.2021	David Fait
Prezkusel / Checked by		
Schválil / Approved by		

FAKULTA STROJNI ZAPADOCESKE UNIVERZITY V PLZNI

Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved

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: pevna_skrin	Projekt / Project: Diplomova prace	Meritko / Scale 1:5
	Soubor-vykres / DRW-file: pevna_skrin	Castsky / Assembly No.	

Nazev / Title	Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.	Format
PEVNA SKRIN ---		DP_002 List / sheet no. 1 Pocet listu / sheets 1	A2