

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N0715A270017

Studijní specializace: Konstruování strojů a technických zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh hlavního pohonu horizontálního vyvrtávacího stroje HCW2

Autor: Bc. Jakub Karas

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Hudec, CSc.

Akademický rok 2021/2022

Zadání DP

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub KARAS**
Osobní číslo: **S20N0031K**
Studijní program: **N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení**
Specializace: **Konstruování výrobních strojů a zařízení**
Téma práce: **Návrh hlavního pohonu horizontálního vyvrtávacího stroje HCW2**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Analýza problému konstrukčního uzlu. Konstrukční návrh hlavního pohonu a jednotlivých dílčích celků.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Specifikace požadavků, analýza úlohy.
2. Konstrukční návrh s příslušnými výpočty.
3. Vypracování příslušné technické dokumentace.
4. Komplexní hodnocení navrhovaného řešení.

Konzultant – Ing. Zdeněk Liška
Zadavatel – ŠMT a.s.

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 strojího inženýra 1. Brno: Computer Press, 1999
[2] BRENÍK, P., PÍČ, J. Obráběcí stroje: Konstrukce a výpočty. Praha: SNTL, 1986

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

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

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2022**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

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

V Plzni dne 16. října 2021

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Karas	Jméno Jakub	
STUDIJNÍ PROGRAM	B0715A270013 Strojní inženýrství		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Hudec, CSc.	Jméno Zdeněk	
PRACOVISTĚ	ZČU - FST – KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh hlavního pohonu horizontálního vyvrtávacího stroje HCW2		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2022
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	47	TEXTOVÁ ČÁST	35	GRAFICKÁ ČÁST	12
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce obsahuje konstrukční návrh hlavního pohonu horizontálního vyvrtávacího stroje HCW2 od firmy ŠKODA MACHINE TOOL. V úvodu práce je popsána firma ŠKODA MACHINE TOOL. Dále práce obsahuje stanovení motoru a návrhu převodů pro dvourychlostní převodovku, stanovení optimální varianty. Pomocí programu KISSsoft bude vytvořen výpočtový model. Na závěr práce bude vytvořeny dokumentace k výpočtovému modelu.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	vyvrtávačka HCW2, hlavního pohonu horizontálního vyvrtávacího stroje, možnosti řazení, druhy převodovek,

ZUSAMMENFASSUNG DER DIPLOMARBEIT

AUTOR	Nachname Karas	Name Jakubs		
STUDIENPROGRAM M	B0715A270013 Maschinenbau			
UNTER LEITUNG VON	Nachname (einschließlich Titel) Doc. Ing. Hudec, CSc.	Name Zdeněk		
ARBEITSPLATZ	UWB-FST-KKS			
ART VON ARBEIT	DIPLOM	JUNGESELLSCHAFT	Nichtzutreffendes streichen	
DIPLOMARBEITNA ME	Konstruktion des Hauptantriebs der Horizontalbohrmaschine HCW2			

FAKULTÄT	Maschinenbau	ABTEILUNG	KKS	JAHR DER ERARBEITUNG	2022
-----------------	--------------	------------------	-----	---------------------------------	------

SEITENZAHL (A4 und A4-Äquivalente)

GESAMT	47	TEXTTEIL	35	GRAFISCHER TEIL	12
---------------	----	-----------------	----	----------------------------	----

KURZE BESCHREIBUNG (MAX. 10 ZEILEN) FOKUS, THEMA, ZIEL ERGEBNISSE UND BEITRAG	Die Diplomarbeit beinhaltet einen Vorschlag des Hauptantriebs der Horizontalbohrmaschine HCW2 der Firma ŠKODA MACHINE TOOL. Die Einleitung beschreibt die Firma ŠKODA MACHINE TOOL. Desweiteren beinhaltet die Arbeit den Entwurf des Motors und die Auslegung von Zahnrädern für Zweigangetriebe, Bestimmung der optimalen Variante. Mit dem Programm KISSsoft wird ein Berechnungsmodell erstellt. Am Ende der Arbeit wird eine Dokumentation für das Berechnungsmodell erstellt.
SCHLÜSSELWÖRTER MEISTENS HAUPTBEGRIFFE, DIE DIE WESENTLICHE BEDEUTUNG DER DIPLOMARBEIT SCHILDERN	Bohrmaschine HCW2, Hauptantrieb Horizontalbohrmaschine, Schaltmöglichkeiten, Getriebetypen,

Obsah

Zadání DP	2
Přehled použitých zkratk a symbolů	8
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
Úvod	11
1 Těžké obráběcí stroje	12
1.1 Historie Firmy ŠKODA.....	14
2 Vyvrtačací stroje.....	15
3 Horizontální vyvrtačky řady HCW	21
4 Zadání od ŠMT	23
4.1. Číselné hodnoty a umístění požadované převodovky	23
4.2. Současné řešení.....	25
5 Stanovení parametrů motoru a převodovky	31
5.1. Stanovení motoru.....	31
5.2. Ověření nutného počtu stupňů převodovky.....	32
5.3. Stanovení zatěžovacího spektra.....	33
5.4. Koncepce převodovky.....	34
6 Konstrukce optimální varianty	38
7 Výpočtový model.....	41
7.1. Výpočet ozubených kol.....	41
7.2. Souhmotí hřídele 1	43
7.3. Souhmotí hřídele 2.....	44
7.4. Souhmotí hřídele 3.....	47
7.5. Souhmotí hřídele 4.....	49
7.6. Souhmotí hřídele 5.....	53
7.7. Souhmotí hřídele 6.....	55
8 Skříň převodovky.....	57
9 Závěr	58
9.1. Technické parametry	59
9.2. Technicko-ekonomické hodnocení	60
Seznam použitých zdrojů.....	61
PŘÍLOHA č. 1.....	i
PŘÍLOHA č. 2.....	ii
PŘÍLOHA č. 3.....	iii

Přehled použitých zkratk a symbolů

CNC	číslicové řízení pomocí počítače
ŠMT a. s.	ŠKODA MACHINE TOOL a.s.

Seznam obrázků

Obrázek 1 Popis stolové vyvrtávačky	15
Obrázek 2 Stolová vyvrtávačka	16
Obrázek 3 Křížová vyvrtávačka	17
Obrázek 4 Desková vyvrtávačka.....	18
Obrázek 5 Desková vyvrtávačka s rotačním a posuvným stolem.....	18
Obrázek 6 Horizontka s automatickou výměnou palet.....	19
Obrázek 7 Vícevřetenová souřadnicová vyvrtávačka	20
Obrázek 8 Horizontka HCW 3000	22
Obrázek 9 Popis horizontální vyvrtávačky	23
Obrázek 10 Popis prostoru pro umístění převodovky na pinole	24
Obrázek 11 Vnitřní prostor vřeteníku.....	24
Obrázek 12 Zástavbové rozměry pro převod.....	25
Obrázek 13 Funkční celky současného řešení	26
Obrázek 14 Specifika ozubených kol v převodovce	27
Obrázek 15 Specifika ozubených kol ve vřetení.....	27
Obrázek 16 První rychlostní stupeň	28
Obrázek 17 Druhý rychlostní stupeň	29
Obrázek 18 Třetí rychlostní stupeň	30
Obrázek 19 Popis posuvné hřídele při řazení.....	35
Obrázek 20 Kinematické schéma navrhované převodovky.....	36
Obrázek 21 Zařazení I. STUPNĚ	37
Obrázek 22 Zařazení II. STUPNĚ.....	37
Obrázek 23 Popis navrhované převodovky	38
Obrázek 24 Propojení převodovky s vřetenem	38
Obrázek 25 Osová vzdálenost mezi osou převodovky a vřetena	40
Obrázek 26 Sestava souhmotí hřídele 1.....	43
Obrázek 27 Sestava souhmotí hřídele 2.....	44
Obrázek 28 Sestava souhmotí hřídele 3	47
Obrázek 29 Sestava souhmotí pro hřídele 4	49
Obrázek 30 Sestava souhmotí pro hřídele 5	53
Obrázek 31 Sestava souhmotí pro hřídele 6	55
Obrázek 32 Poloha hydromotoru	57
Obrázek 33 Popis kolize ozubeného kola 6 a vřeteníkem	58
Obrázek 34 Detail A	58

Obrázek 35 Úprava vřeteníku59

Seznam tabulek

Tabulka 1	Technické parametry jednotlivých strojů	21
Tabulka 2	Číselné hodnoty zadání od ŠMT a. s.	23
Tabulka 3	Technická data původního elektromotoru	25
Tabulka 4	Parametry zvoleného elektromotoru a původního	31
Tabulka 5	Zatěžující stavy pro 1. stupeň	33
Tabulka 6	Zatěžující stavy pro 2. stupeň	33
Tabulka 7	Parametry ozubení 1-2	41
Tabulka 8	Parametry ozubení 3-4	42
Tabulka 9	Parametry ozubení 5-7	42
Tabulka 10	Parametry hřídele 1	43
Tabulka 11	Parametry ložisek pro hřídele 1	44
Tabulka 12	Parametry hřídele 2	45
Tabulka 13	Parametry ložisek pro hřídele 2	45
Tabulka 14	Parametry hřídele 3	48
Tabulka 15	Parametry ložisek pro hřídele 3	48
Tabulka 16	Parametry hřídele 4	49
Tabulka 17	Parametry ložiska pro hřídele 4	50
Tabulka 18	Parametry hřídele 5	53
Tabulka 19	Parametry ložiska pro hřídele 5	54
Tabulka 20	Parametry hřídele 6	55
Tabulka 21	Parametry ložiska pro hřídele 6	56
Tabulka 22	Parametry hydromotorů.....	57
Tabulka 23	Požadované a dosažené hodnoty.....	59
Tabulka 24	Technicko-ekonomické hodnocení	60

Úvod

Práce obsahuje popis a vlastnosti těžkých obráběcích strojů a horizontálních vyvrtávacích strojů, u kterých se také zaměřuje na jejich dělení, výhody, nevýhody a také na jejich použití v jednotlivých oborech výrobního průmyslu.

Mezi důležité části horizontálních obráběcích strojů patří hlavní pohon vyvrtávacího stroje, který vytváří hlavní řezný pohyb při frézování. V současnosti jsou otáčky elektromotoru regulovány pomocí frekvenčního měniče, čímž se podstatně zvětšuje rozsah otáček na elektromotoru. Větší rozsah otáček elektromotoru má za následek převodovky s menším počtem převodových stupňů, a tím i jejich menší rozměry a snížení výrobních nákladů.

Při konstrukci samotné převodovky jsme vycházeli z prostoru daného ŠMT a.s., kde byl dán rozměr mezi převodovkou a samotným vřetenem vyvrtávacího stroje, tak abychom respektovali uchycení elektromotoru od výrobce a proporce samotné konstrukce vřeteníku od ŠMT a.s.

Mezi důležité parametry při návrhu hlavního pohonu vyvrtávacího stroje patří maximální moment na vřetení, který je potřeba pro obráběcí proces a maximální otáčky vřetená. Dalším důležitým údajem je zatěžovací spektrum. Protože obráběcí stroj dělá jak hrubovací, tak i dokončovací operace, nemůžeme ho počítat pouze na jeden provozní stav. Zatěžovací spektrum obsahuje více těchto stavů, které reprezentují jak hrubovací, tak i dokončovací operace. Všechny parametry byly zadány firmou ŠMT a.s.

1 Těžké obráběcí stroje

Těžké obráběcí stroje jsou výrobní zařízení, která se používají pro třískové obrábění velmi rozměrných a hmotných dílů. Proto je důležitá nosnost jeřábu v hale, jak pro manipulaci se samotným obrobkem, tak i pro možnosti sestavení tohoto stroje. Těžké obráběcí stroje mají specifika vyplývající z jejich velikosti, jde především o vyrobiteľnost a smontovatelnost. Výroba a přeprava nadměrně velkých součástí strojů jako jsou stojany, upínací desky a příčnický je velmi komplikovaná a ekonomicky neefektivní. Rozměry výrobků, které lze přepravit po silnici nebo železnici jsou omezeny. Proto není možné díly přepravovat jako monolitické celky, je potřeba rozměrné části sestavit z více dílů.

Pro spojení více dílů do jedné funkční části stroje se používá předepnutý šroubový spoj s definovaným kroutícím momentem. Požadované kroutící momenty pro předepnutí šroubového spoje jsou natolik velké, že se často používá ohřátí spojovacího materiálu bez ovlivnění mechanických vlastností a následným ochlazením dojde k vytvoření požadovaného kroutícího momentu. Protože hmotnosti rámu a hmotnosti obrobku jsou ve stovkách tun, síla betonového základu se pohybuje v jednotkách metrů. Velikost síly betonového základu má vliv na vlastní frekvence celé soustavy.

Přesnost těžkého obráběcího stroje velmi ovlivňují mechanické a teplotní deformace. Kompenzace průhybu smykadla lze eliminovat tažnými tyčemi, které jsou součástí hydraulického válce. Jako zdroj tlaku je použit hydraulický akumulátor, lze také využít závaží pověšeného na kladkách nebo řízeným natočením kuličkových šroubů.¹ Pokud je vřeteník uložen hydrostaticky, lze náklon kompenzovat pomocí změny tlaku v jednotlivých hydrostatických buňkách. Stejnou myšlenku lze použít i pro kompenzaci náklonu stojanu, pokud má hydrostatické vedení v loži.

Strojní časy pro obrobení na těžkých obráběcích strojích jsou v desítkách hodin. Proto moderní těžký obráběcí stroj musí být schopný obrábět vysokými reznými rychlostmi a zároveň oddělovat třísky velkých rozměrů. Při obrábění předchozím způsobem jsou části stroje vysoce zatíženy, proto musí být části stroje tuhé a odolné proti statickým a dynamickým účinkům

¹ MAREK, J. a kol. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, s. r. o., 2014. s. 472-473. ISBN 978-80-260-6780-1

vznikajících při řezném procesu. Dalším podstatným jevem je působení tepla od pohonů nebo nahromaděnými třískami v rámu stroje. Vzhledem k velmi drahému provozu stroje je potřeba snižovat vedlejší časy, čímž lze zvýšit produktivitu stroje.

Přesnost obrábění u těžkých obráběcích strojů ovlivňuje působení gravitační síly, proto při návrzích dílů je gravitační síla zahrnuta do výpočtu. Nepříznivě působí na přesnost stroje teplotní deformace dlouhých součástí. Z důvodu pořizovacích nákladů a velikosti stroje musí vykonávat jak hrubovací i dokončovací operace. Šířka běžných tolerančních polí u rozměrných obrobků dosahuje desetin až jednotek mm. V současnosti se prosazuje kontrola obrobků pomocí kontaktní obrobkové sondy rovnou na obráběcím stroji. Lze mít kalibrační body umístěné rovnou v prostoru stroje a tím zvýšit přesnost měření. Díky rozměrnosti dílů je jediná možná metoda kontroly rozměru pomocí laseru. Délkové rozpínání je kompenzováno tyčemi, které mají malou tepelnou roztažnost tzv. invarovými tyčemi.

Spolehlivost a trvanlivost patří mezi nejdůležitější požadované vlastnosti stroje, zničení polotovaru v hodnotě milionů českých korun a výpadek výrobní kapacity z důvodu poruchy stroje jsou nežádoucí. Náklady na provoz stroje jsou značné a tím i vzniklé výpadky při výrobě. Mechanické závady mohou prodloužit dobu opravy na několik dní až na měsíc. Zvýšením spolehlivosti lze dosáhnout používáním osvědčených konstrukčních uzlů.

Pro přesun velkých hmotností je nutné snížit mechanické tření na minimum, proto se u těchto strojů používá hydrostatické vedení pohybových os. Hydrostatika je jistotou dobrého mazání kluzných ploch a dlouhodobé životnosti s požadovanou přesností stroje. Použití kuličkových axiálních ložisek pro otočné stoly karuselů není možné, protože axiální ložiska s únosností desítek až stovek tun s požadovanou přesností se nevyrobí. Axiální hydraulické ložisko se skládá z kapes, do kterých je přiváděn tlakový olej. Lze také použít kombinaci axiálního vedení hydrostaticky a radiálního vedení pomocí valivých elementů.²

² MAREK, J. a kol. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, s. r. o., 2014. s. 472-480. ISBN 978-80-260-6780-1

1.1 Historie Firmy ŠKODA

Historie firmy sahá až do roku 1859, kdy hrabě Arnošt Valdštejn založil v Plzni pobočku své slévárny a strojírny. V roce 1869 továrnu koupil český technik, průmyslník a velkopodnikatel Emil Škoda. V osmdesátých letech předminulého století byly Škodovy závody velmi moderní ocelárnou, která byla schopna dodávat odlitky o hmotnosti desítek tun.

V roce 1899 se staly Škodovy závody akciovou společností. V této době se podnik zaměřoval především na výrobu zbraní a munice, stal se největším průmyslovým podnikem Rakouska-Uherska. V roce 1911 Škodovy závody začaly výrobu vlastních obráběcích strojů. Už v uvedené době se výroba zaměřovala na produkci obráběcích strojů pro velmi rozměrné a hmotné polotovary. Po první světové válce podnik zachránil vstup francouzské zbrojovky Schneider, díky čemuž se podnik stal mnohooborovým. V době 2. světové války byla výroba orientována na válečnou produkci. Na konci 2. světové války byly Škodovy závody značně poničeny nálety.

Po 2. světové válce došlo ke znárodnění podniku a jeho rozdělení. V Plzni zůstala výroba zaměřená na těžké a dopravní strojírenství. V roce 1958 měla velký úspěch v Plzni vyráběná horizontální vyvrtávačka ŠKODA WD 200, která získal ocenění na EXPO v Bruselu. Horizontální vyvrtávačka ŠKODA WD 200 měla výbornou přesnost a vysokou efektivitu výroby. Pro vlastnosti stroje horizontální vyvrtávačky ŠKODA WD 200 se tento stroj vyráběl do roku 1974 a celkový počet vyrobených strojů je 1200 kusů. V polovině sedmdesátých let byla zkonstruována první horizontka s CNC ovládání. Od roku 1980 je CNC ovládání běžnou součástí strojů Dörries Scharman (dále DS).³

V roce 1990 byl státní podnik převeden na akciovou společnost ŠKODA a.s. Výroba obráběcích strojů v Plzeňském podniku roku 1993 byla poznamenána německou firmou. Závody Obráběcí stroje Škoda a německá firma DS jsou sloučeny do společného názvu ŠKODA MACHINE TOOL s.r.o.

³ ŠKODA. *Historie*. [online]. © 2021 [cit. 2021-11-02]. Dostupné z WWW: <https://www.skoda.cz/cs/stranka/historie>

2 Vyvrťovací stroje

Vyvrťovací stroje se nazývají častěji horizontky, lze s nimi dělat velkou škálu technologií (vrtání, frézování, vystružování, zahlubovat) někdy i protahovat a obrážet, popřípadě brousit. Pokud má stroj otočný stůl se soustružnickými parametry, lze na něm i soustružit. Patří mezi univerzální stroje vhodné pro obrábění složitých skříňových obrobků v kusové a malosériové výrobě.

Vyvrťovací stroje lze dělit podle osy vřetená

a) Vodorovná osa vřetená

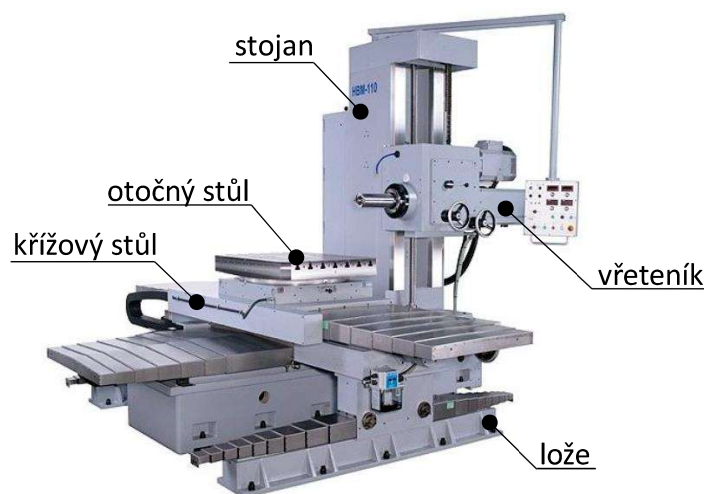
- stolové
- křížové
- deskové
- souřadnicové

b) Svislá osa vřetená

- souřadnicové

Stolové vyvrťávačky

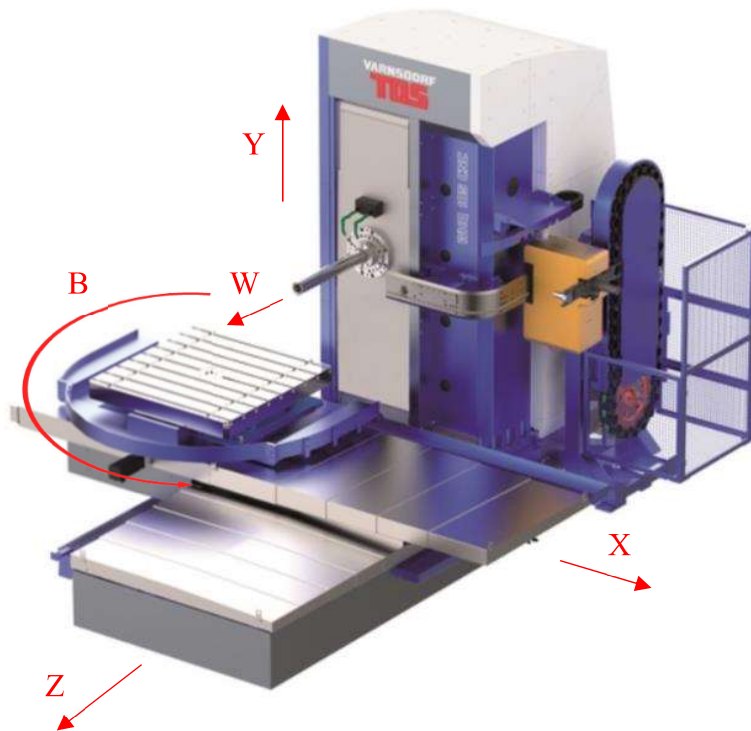
Stolové vyvrťávačky obsahují křížové stoly, které dovolují posuv ve dvou na sebe kolmých osách. Křížový stůl bývá otočný z důvodu dostupnosti obrobku ze všech čtyř stran na jedno upnutí. Stojan zde bývá nepohyblivý, viz Obrázek 1.



Obrázek 1 Popis stolové vyvrťávačky

Zdroj: SINOVA CONSULT s.r.o. Dovož strojů. [online]. © 2021 [cit. 2021-11-06]. Dostupné z WWW:
<https://dovoz-stroju.cz/upload/cms/gallery/04-horizontal-boring-mala1.jpg>

Pokud výška obrobku nepřesahuje osu Y, viz Obrázek 2, lze pomocí úhlové hlavy opracovávat i horní plochu obrobku. Výsuv pracovního vřetena bývá u stolových vyvrtávaček maximálně 800 mm.



Obrázek 2 Stolová vyvrtávačka

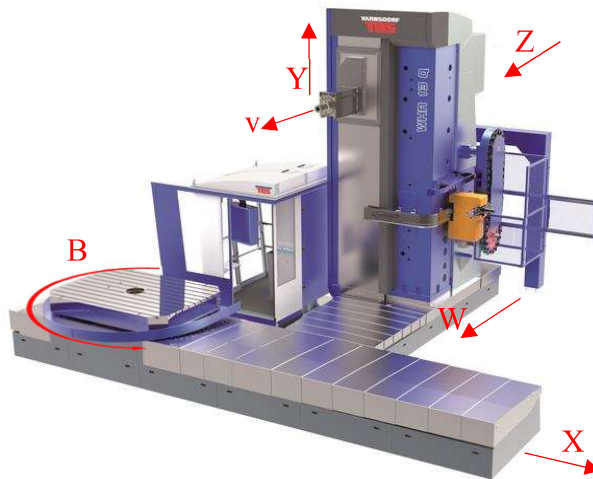
Zdroj: TOS VARNSDORF a.s. *WH(Q) 105 CNC*. [online]. © 2021 [cit. 2021-11-06]. Dostupné z WWW: https://www.tosvarnsdorf.cz/images/gallery/machines/tit_whq-105-cnc.jpg

Stolové vyvrtávačky se vyrábějí v menších rozměrech, většinou je průměr vyvrtávacího vřetena od 110 do 130 mm a hmotnost obrobku bývá cca 10 tun až maximálně 15 tun. Malé stolové vyvrtávačky mají nepohyblivé stojany. Větší stroje mají stojany uložené na vedení na loži a vykonávají pohyb v ose vřetena.

Nejlepší tvar obrobku je krychle o velikosti upínací desky. Omezující prvek této konstrukce je křížový stůl, pohybující se v ose X, který vytváří velká zatížení na lože v ose Z, čímž dochází k nežádoucímu naklápění obrobku.

Křížové vyvrtávačky

U křížových vyvrtávaček se stůl a obrobek pohybuje pouze ve směru X. Tím se odstraní problém v ose Z na křížovém stole. Ve směru kolmém na osu X se pohybuje pouze stojan, viz Obrázek 3.



Obrázek 3 Křížová vyvrtávačka

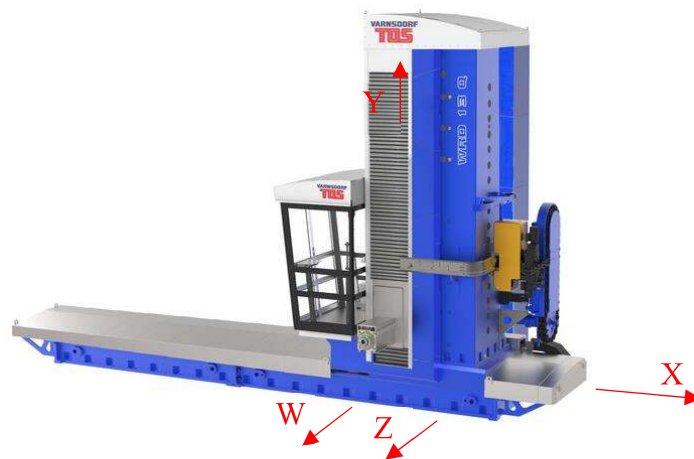
Zdroj: TOS VARNSDORF a.s. *WHR 13 Q*. [online]. © 2021 [cit. 2021-11-06]. Dostupné z WWW: https://www.tosvarnsdorf.cz/images/gallery/machines/tit_whr_13.jpg

Posuv směrem k obrobku lze vytvořit pohybem tří částí stroje, pracovního vřetená (W), vřeteníku smykadlového (V) typu a stojanu (Z), viz Obrázek 3. Používají se k obrábění dlouhých obrobků, kde jeden z rozměrů je několikanásobně větší než ostatní rozměry. Křížové vyvrtávačky jsou vhodné pro střední obrobky. Průměry vřeten jsou od 100 do 160 mm.

Deskové vyvrtávačky

Deskové vyvrtávačky mají posuvný vřeteník po vertikálním vedení (osa Y) ve stojanu a stojan se posouvá po loži kolmo k ose vřeteníku (osa X). Posuv k obrobku lze vykonávat výsuvem pracovního vřetená (osa W) a u některých výrobců je pohyb možný pomocí smykadla, viz Obrázek 4.

Pohyb k obrobku lze vytvořit třemi částmi stroje: smykadlo, výsuvné pracovní vřetená, stojan.



Obrázek 4 Desková vyvrtávačka

Zdroj: TOS VARNSDORF a.s. *WRD 13(Q)*. [online]. © 2021 [cit. 2021-11-07]. Dostupné z WWW:
https://www.tosvarnsdorf.cz/images/gallery/machines/tit_wrd-13a.jpg

Deskové vyvrtávačky se používají pro větší a velké obrobky. Průměry vyvrtávacího vřetena jsou 130 až 315 mm. Vřeteník smykadlového typu je žádaný u moderních horizontek. V nejjednodušším provedení je obrobek nepohyblivý. Upínání obrobku se provádí do litinové desky opatřené T-drážkami. Deskovou horizontku lze na přání zákazníka doplnit otočným stolem, a to buď stacionárním, nebo pohyblivým v ose vřetena, viz Obrázek 5.^{4 5}



Obrázek 5 Desková vyvrtávačka s rotačním a posuvným stolem

Zdroj: FAKTUM DESIGN s.r.o. *Portfolio*. [online]. © 2021 [cit. 2021-11-07]. Dostupné z WWW:
http://www.faktumdesign.cz/files/portfolio-images/141151_3.jpg

⁴ MAREK, J. a kol. *Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0*. Praha: MM publishing, s. r. o., 2018. s. 144-145. ISBN 978- 80-906310-8-3

⁵ MAREK, J. a kol. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, s. r. o., 2014. s. 432-433. ISBN 978- 80-260-6780-1

Vyvrátavací stroje v provedení obráběcího centra

Pomocí rozšíření strojů o rotační stoly s parametry dostačujícími pro soustružnické operace a osazení strojů automatickou výměnou nástrojů a hlav, byly stroje přetvořeny na plnohodnotná obráběcí centra. Lze obrábět skříňové, deskové a dokonce i rotační obrobky. Frézovací operace jsou běžnou součástí už léta, trendem posledních let je, že se realizují méně či více plnohodnotné soustružnické operace. Obsahuje-li stroj automatickou výměnu nástrojů a hlav, dále disponuje automatickou výměnou palet s obrobkem, dokáže pracovat v automatickém cyklu, je vybaven měřicími pomůckami a diagnostikou obrobku atd., splňuje stroj definici obráběcího centra. Stroje jsou skládány jako stavebnice, lze vytvořit velké množství různých strojů, které mají různé parametry a vybavení. Odkládací místa jsou většinou stacionární a často se nalézají před strojem, viz Obrázek 6.



Obrázek 6 Horizontka s automatickou výměnou palet

Zdroj: TOS VARNSDORF a.s. *Horizontální obráběcí centra. WHT 110 C.* [online]. © 2021 [cit. 2021-11-08].
Dostupné z WWW: https://www.tosvarnsdorf.cz/images/gallery/aktuality/PR-akce/tosmeet2017/wht_04.jpg

Jiné řešení je pomocí palet, kdy palety jsou dopravovány pomocí manipulátoru dovnitř stroje. Úplné krytování pracovního prostoru stroje je nutná při užití vysokotlakého chlazení, které je nejčastěji řešeno středem nástroje. Chladicí kapalina je většinou přivedena přímo na břit nástroje.^{6 7}

⁶ MAREK, J. a kol. *Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0.* Praha: MM publishing, s. r. o., 2018. s. 155-156. ISBN 978- 80-906310-8-3

⁷ MAREK, J. a kol. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III.* Praha: MM publishing, s. r. o., 2014. s. 442-444. ISBN 978- 80-260-6780-1

Souřadnicové vyvrtávačky

Mezi základní požadavky patří vysoká přesnost všech hlavních řezných i posuvových pohybů, vysoká dynamická stabilita a co nejlepší teplotní stabilita. Dnes se pro malé obrobky používají obráběcí centra, která mají vysokou variabilitu využití. Klasické použití je obrábění přesných otvorů, typicky IT 5 až IT 6 v přesných osových vzdálenostech s tolerancí polohy 0,01 až 0,005 mm. Pokud chceme docílit požadované přesnosti, musíme mít stroj v oddělené místnosti, kde bude teplota $20 \pm 1^\circ\text{C}$. Rámy jsou velmi tuhé a spočívají na základě ze třech bodů. Nesmí se umisťovat do vyšších pater budov a vedle strojů produkující rázy a otřesy. Vyrábějí se jako jednostránkové se svislou nebo vodorovnou osou vřeten, dále jako dvoustojanové vyvrtávačky s jedním nebo více svislými vřeteníky, viz. Obrázek 7.



Obrázek 7 Vícevřetenová souřadnicová vyvrtávačka

Zdroj: VARINELLI S.r.l. *Foratrici verticali plurimandrino*. [online]. © 2021 [cit. 2021-11-15]. Dostupné z WWW: <http://www.varinelli.com/prodotti/foto/foratrice.jpg>

Z důvodu velikosti nejde rám stroje ustanovit na tři body. Rám spodní gantry přenáší váhu nepohyblivého příčnicku. Na horní ploše stojanu je příčka, která zvyšuje tuhost celého rámu stroje. Posuv rámu je v ose X 10 000 mm. Na příčnicku může být podle přání zákazníka 4, 6, 8, 10 nezávislých vyvrtávacích jednotek na rozteči 270 mm. Přes velký počet vřeten lze u nich řídit samostatně velikosti posuvu a rychlosti otáčení, mají vlastní přívody chladicí kapaliny.

8

⁸ MAREK, J. a kol. *Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0*. Praha: MM publishing, s. r. o., 2018. s. 156-157. ISBN 978- 80-906310-8-3

3 Horizontální vyvrtávačky řady HCW

Firma ŠKODA MACHINE TOOL s.r.o. vyrábí řady HCW v sedmi různých provedeních. Řady HCW 2000, HCW 3000, HCW 4000 jsou zaměřeny pro extrémní výsuvy pinoly a vřetena, spolu s velmi vysokými otáčkami. Stroje plně hydrostatické mají výbornou tuhost ve vedení a tím i přesnost při obrábění a jejich velkou výhodou je potřeba relativně malých sil pro pohyb hmotných polotovarů. Systémy těchto strojů nám dovolují odebírat obrovské špony při hrubování, ale také na stejném stroji lze dělat dokončovací obrábění obrobku, čímž splňuje ty nejnáročnější požadavky na produktivitu. Stroje jsou vybaveny systémem mechanického předeprnutí pinoly, který dokáže kompenzovat padání pinoly od vlastní tíhy při extrémní vysunutí pinoly. Stroje řady HCW 2000, HCW 3000, HCW 4000 jsou určeny pro energetiku, větrné elektrárny, dopravní techniku, lodní průmysl, těžbu ropy a plynu, letecký průmysl, důlní techniku aj.

	HCW 2000	HCW 3000	HCW 4000
Průměr vřetena [mm]	160/180	180/200/225	225/250/262
Výkon hlavního pohonu [kW]	64	103	120
Otáčky vřetena [ot/min]	3 500	3 000	2 500
Výsuv pinoly v ose Z [mm]	1 750	2 000	2 500
Výsuv vřetena v ose W [mm]	1 250	1 400	1 500
Max. pojezd stojanu v ose Y [mm]	5 000	7 000	9 000

Tabulka 1 Technické parametry jednotlivých strojů

Zdroj: ŠMT a.s. *Horizontální vyvrtávačky. Stroje typu ŠMT HCW 2000-4000.* [online]. © 2021 [cit. 2021-11-18]. Dostupné z WWW: <https://www.cz-smt.cz/cs/produkty/hcw-2000-4000>



Obrázek 8 Horizontka HCW 3000

Zdroj: ŠMT a.s. *Horizontální vyvrtávačky. Stroje typu ŠMT HCW 2000-4000.* [online]. © 2021 [cit. 2021-11-18]. Dostupné z WWW: https://www.cz-smt.cz/media/k2/galleries/4/05-IMG_9304.jpg

4 Zadání od ŠMT

Zadání od ŠMT mi bylo předáno na osobní konzultaci s Ing. Zdenkem Liškou, byla mi dále objasněna omezení vyplývající ze zástavbového prostoru samotné převodové skříně. Dále mi bylo vysvětleno umístění převodovky v samotném obráběcím stroji, její funkce a možnosti připevnění do stávající konstrukce. Taktéž byl sdělen způsob řazení, který je od firmy ŠMT požadován.

4.1. Číselné hodnoty a umístění požadované převodovky

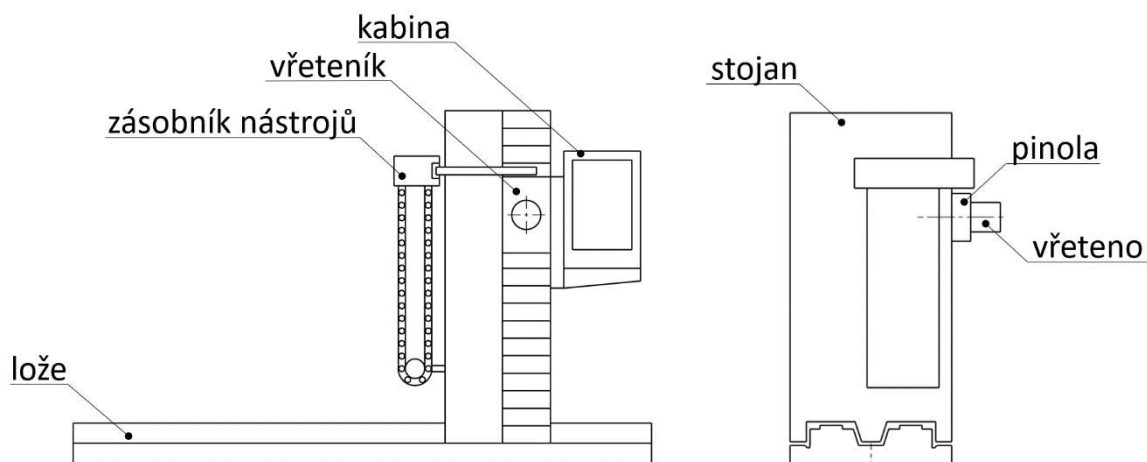
Požadavky zadavatele, kterým je firma ŠMT a. s, jsou uvedeny v následující tabulce.

Minimální požadovaný výkon [kW]	100
Maximální otáčky vřetena [$\text{ot}/\text{min}^{-1}$]	2500
Minimální moment na vřetení [$\text{N} \cdot \text{m}$]	10 000
Rozměry pinoly [mm] x [mm]	480 x 480
Počet rychlostních stupňů	2

Tabulka 2 Číselné hodnoty zadání od ŠMT a. s.

Zdroj: Vlastní zpracování

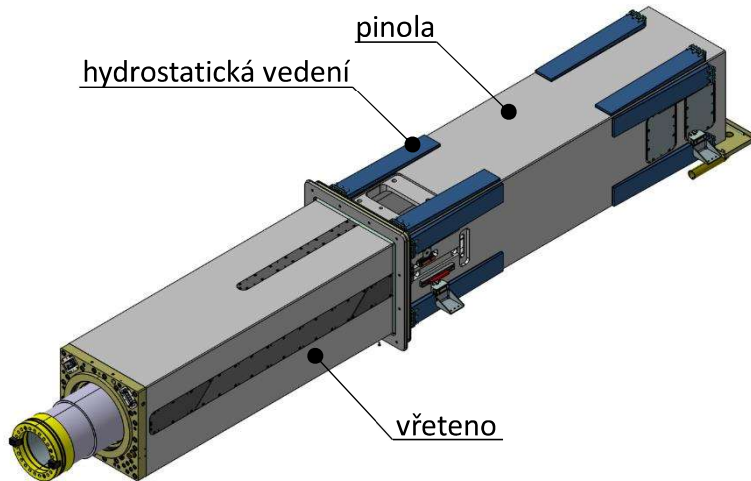
Dané hodnoty jsou akceptovatelné z pohledu návrhu celé převodovky. Převodová skříň je pevně namontována spolu s elektromotorem na pinole, která je umístěna ve vřeteníku stroje. Vřeteník je uložen na stojanu, který nese celou jeho váhu a přenáší řezné síly do lože obráběcího stroje, viz Obrázek č. 9.



Obrázek 9 Popis horizontální vyvrtávačky

Zdroj: Vlastní zpracování

Převod mezi pohonem vřetena a převodovky má omezený prostor, protože pinola je ve vřeteníku vedena pomocí hydrostatického vedení. viz Obrázek č. 10.

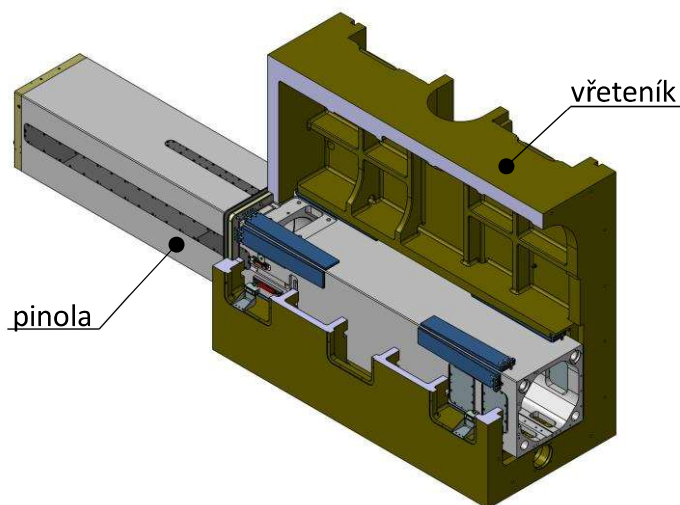


Obrázek 10 Popis prostoru pro umístění převodovky na pinole

Zdroj: Vlastní zpracování

Jak lze vidět na obrázku, prostor pro umístění ozubeného kola je omezený o šířku hydrostatického vedení, takže nelze využít celou šířku pinoly.

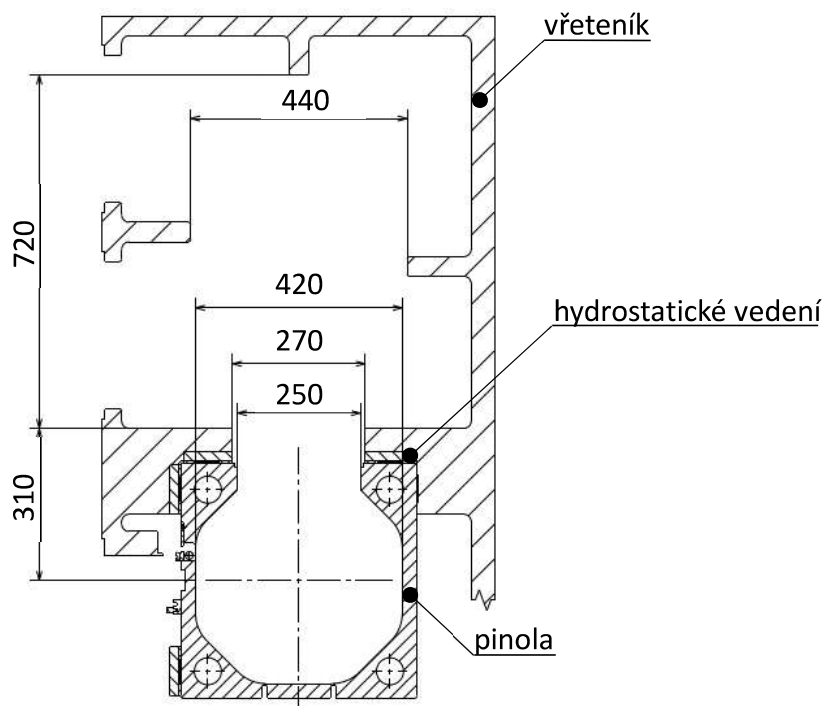
Prostor pro převodovku a elektromotor je omezen prostorem vřeteníku, ve kterém se bude pohybovat převodovka s elektromotorem na pinole. viz. Obrázek 11.



Obrázek 11 Vnitřní prostor vřeteníku

Zdroj: Vlastní zpracování

Zástavbové rozměry pro umístění převodovky s elektromotorem na pinole jsou vidět v řezu přes pinolu v místě otvoru mezi hydrostatickým vedením. viz. Obrázek 12.



Obrázek 12 Zástavbové rozměry pro převod

Zdroj: Vlastní zpracování

4.2. Současné řešení

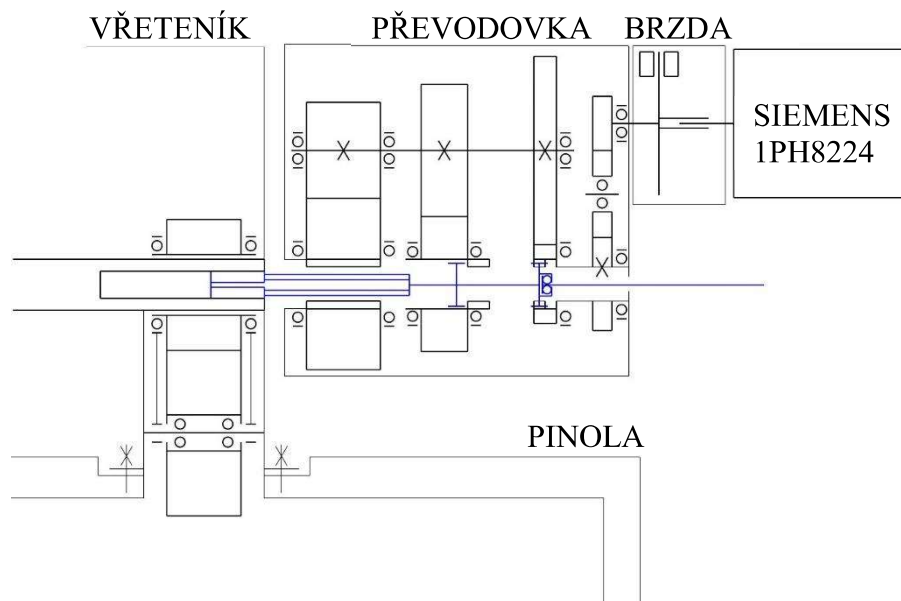
Naprosto rozdílná je koncepce celé převodovky, kde je převodovka pevně namontována na vřeteníku ze zadní strany a neposouvá se jako celek spolu s vřetenem. Převodovka má tři rychlostní stupně, protože rozdíl mezi minimálními a maximálními otáčkami elektromotoru je pouze 2 750 otáček za minutu. Technická data použitého elektromotoru 1PH8224-1DF03-0DB1 jsou uvedena v tabulce pod textem. Nejpomalejší je 1. rychlostní stupeň.

Typ	1PH8224-1DF03-0DB1
Výkon [kW]	110
Maximální otáčky [min^{-1}]	4 500
Jmenovité otáčky [min^{-1}]	1 750

Tabulka 3 Technická data původního elektromotoru

Modrá hřídel je přesuvná a slouží k zařazení potřebného převodového stupně pro změnu otáček na vřeteno umístěného v pinole, viz. Obrázek 13.

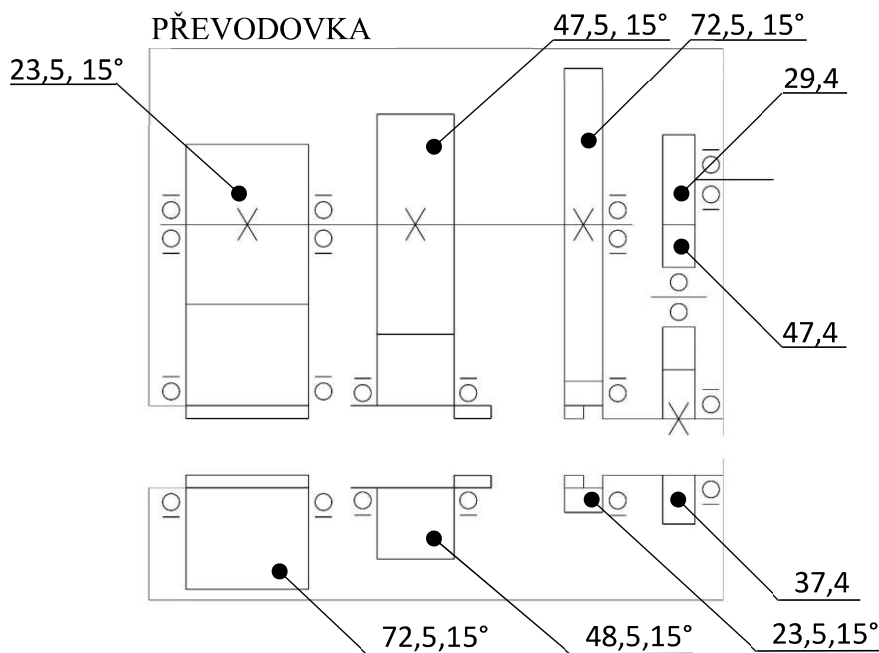
Pravá strana přesuvné hřídele obsahuje evolventní ozubení, které je vhodné pro samotné řazení mezi jednotlivými rychlostními stupni převodovky. Pro zlepšení zařazení požadovaného stupně je evolventní ozubení opatřeno náběžnými hranami do tvaru šípu. Levá strana přesuvné hřídele je opatřena rovnobokým drážkováním středěným na nejmenší průměr. První soukolí v převodovce, které je hned za brzdou, je napevno spojeno s druhým soukolím.



Obrázek 13 Funkční celky současného řešení

Zdroj: Vlastní zpracování

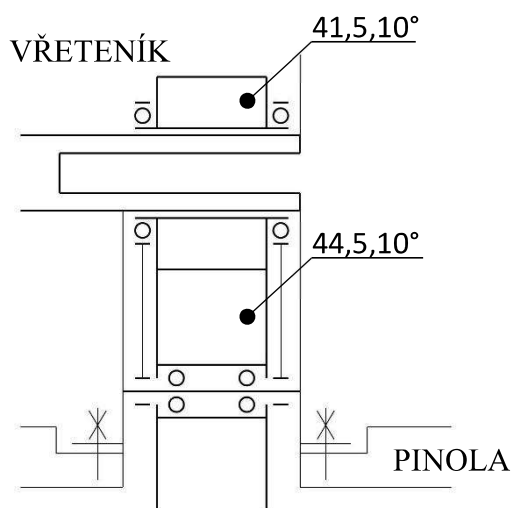
Jednotlivá specifika ozubených kol v převodovce jsou zapsána pomocí odkazu ve formátu: počet zubů, modul, a pokud jde o šikmé ozubenění, i velikosti úhlu beta, viz Obrázek 14.



Obrázek 14 Specifika ozubených kol v převodovce

Zdroj: Vlastní zpracování

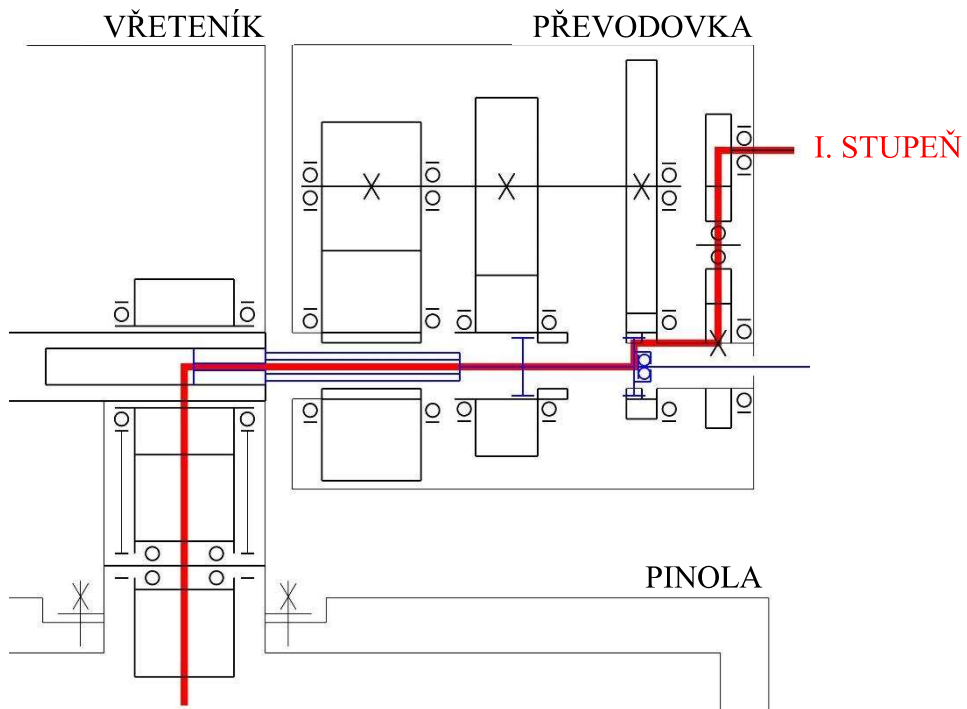
Jednotlivá specifika u ozubených kol ve vřeteníku jsou zapsána stejně jako v převodovce, viz. Obrázek 15.



Obrázek 15 Specifika ozubených kol ve vřetení

Zdroj: Vlastní zpracování

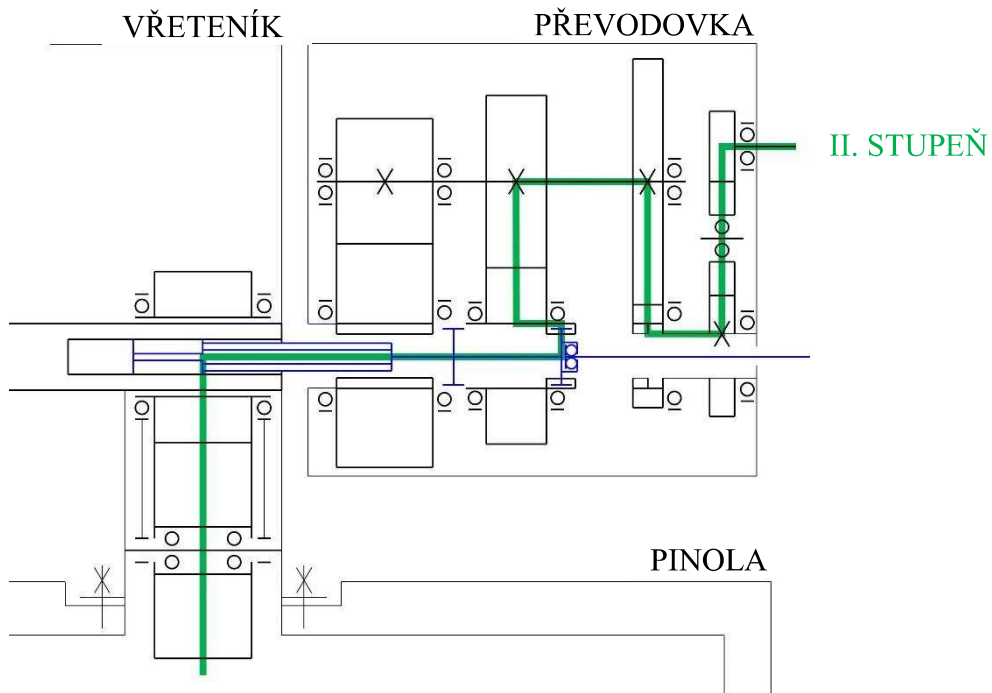
Jak už bylo řečeno, řazení probíhá pomocí přesouvání modré hřídele. Pokud je zařazen 1. rychlostní stupeň přesuvná hřídel je přesunuta na druhé soukolí od brzdy, viz. Obrázek 16.



Obrázek 16 První rychlostní stupeň

Zdroj: Vlastní zpracování

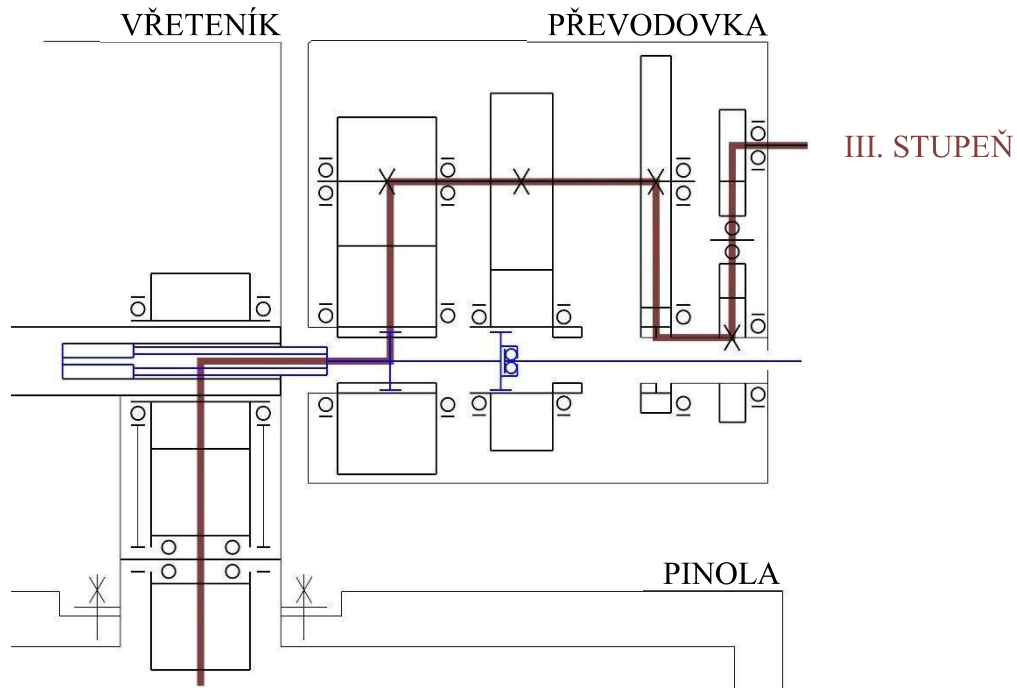
Při zařazení 2. rychlostního stupně je využita horní hřídel, která spojuje druhé, třetí a čtvrté soukolí. Přesuvná hřídel je posunuta na třetí soukolí od brzdy, viz. Obrázek 17.



Obrázek 17 Druhý rychlostní stupeň

Zdroj: Vlastní zpracování

3. rychlostní stupeň využívá stále horní hřídel, která rozpožbuje poslední soukolí. Přesuvná hřídel je přesunuta na poslední soukolí. viz. Obrázek 18.



Obrázek 18 Třetí rychlostní stupeň

Zdroj: Vlastní zpracování

5 Stanovení parametrů motoru a převodovky

Stanovení parametrů motoru a převodovky jsou první údaje, které potřebujeme pro samotný výpočet. Stanovení parametrů motoru je důležité z důvodu dosažení předepsaného kroutícího momentu a otáček. Stanovení parametrů převodovky navazuje na parametry motoru, kde chceme pomocí převodovky zvýšit kroutící moment na požadovanou velikost a snížit otáčky tak, aby bylo dosaženo požadovaných maximálních otáček. Z parametrů převodovky poté spočítáme základní rozměry ozubených kol a navrhne celkovou konstrukci hřídelů a ložisek.

5.1. Stanovení motoru

Současným trendem u elektromotorů je snižování jmenovitých otáček, tak aby se zvyšoval regulační rozsah elektromotoru. Tento trend má za následek snižování stupňů převodovek a tím zmenšování a zlevňování výroby. Dobrým příkladem je původní elektromotor a elektromotor zvolený firmou ŠMT a.s. pro využití na konstrukci 2. stupňové převodovky. Nový motor, který splňuje požadované hodnoty, jako je výkon a regulační rozsah, je 1PH8228-1DC03 od firmy Siemens.

Typ	1PH8228-1DC03	1PH8224-1DF03-0DB1
Výkon [kW]	115	110
Výška osy motoru [mm]	225	225
Hmotnost [kg]	880	610
Maximální otáčky [min^{-1}]	4 500	4 500
Jmenovité otáčky [min^{-1}]	1 000	1 750
Maximální moment na vřetenu [$\text{N} \cdot \text{m}$]	10 040	11 000
Maximální otáčky na vřetenu [min^{-1}]	2 500	2 500
Počet stupňů převodovky	2	3

Tabulka 4 Parametry zvoleného elektromotoru a původního

Zdroj: SIEMENS. *Catalogue*. [online]. © 2021 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z WWW:
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/uk/Catalog/Product/1PH8228-1DC03-2AA1>
 Zdroj: SIEMENS. *Katalog*. [online]. © 2021 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z WWW:
<https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/1PH8224-1DF03-0DB1>

Důvody pro volbu motoru jsou: dostatečný výkon, dostatečný regulační rozsah otáček a rozměrů tak, aby se vešel do prostoru vřeteníku.

5.2. Ověření nutného počtu stupňů převodovky

$$\text{regulační rozsah zvoleného motoru: } r_p = \frac{4\,500}{1\,000} = 4,5$$

$$\text{účinnost záběru ozubených kol: } \eta = 0,98$$

$$\text{přípustný pokles výkonu mezi stupni: } a_m = 1,26$$

$$\text{maximální požadovaný kroutící moment na vřetení: } M_L = 10\,000 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\text{maximální otáčky p stupně: } n_M = 2\,500 \text{ min}^{-1}$$

odhadovaný počet převodových stupňů: 4

$$\text{účinnost 4. stupňové převodovky: } \eta_4 = \eta^4 = 0,98^4 = 0,922$$

otáčky při maximálním kroutícím momentu na vřetení

$$n_L = \frac{P \cdot \eta_4}{2 \cdot \pi \cdot M_L} = \frac{115\,000 \cdot 0,922}{2 \cdot \pi \cdot 10\,000} = 1,69 \text{ s}^{-1}$$

Potřebný počet stupňů převodovky

$$p = \frac{\log_{10} \left(\frac{n_M}{n_L} \cdot a_m \right)}{\log_{10} (r_p \cdot a_m)} = \frac{\log_{10} \left(\frac{2500}{1,69 \cdot 60} \cdot 1,26 \right)}{\log_{10} \left(\frac{2500}{1,69 \cdot 60} \cdot 1,26 \right)} = 1,98$$

Z výpočtu volím 2. stupňovou převodovku.

5.3. Stanovení zatěžovacího spektra

Obráběcí stroje fungují v různých režimech, které reprezentují zatěžující spektrum. Zatěžujících stavů bývá obvykle více, protože obráběcí stroj pracuje s různými nástroji a provádí jak operace hrubování, tak i operace dokončovací, kde jsou rozdílné řezné podmínky. Nemůžeme počítat s nejtěžším stavem pro celou dobu životnosti stroje. Vedlo by to ke zbytečnému předimenzování celé převodovky. Předimenzování by vedlo k větší hmotnosti převodovky a i větším rozměrům, výrobní náklady by tím byly také větší.

[P1] Příloha č.1 Základní návrh ozubení a zatěžujícího spektra				
velikost nástroje D [mm]	1000	250	250	160
otáčky [1/min]	31,8	178	-178	454
momenty [N · m]	1 000	5 691	-5 691	1 262
výkon [kW]	33,3	106	106	60
doba běhu [hodiny]	700	2 100	2 100	2 100

Tabulka 5 Zatěžující stavy pro 1. stupeň

Zdroj: Vlastní zpracování

[P1] Příloha č.1 Základní návrh ozubení a zatěžujícího spektra			
velikost nástroje D [mm]	160	63	20
otáčky [1/min]	555,6	656	2 500
momenty [N · m]	1 031	509,5	81
výkon [kW]	60	35	21
doba běhu [Hodiny]	2 800	2 800	1 400

Tabulka 6 Zatěžující stavy pro 2. stupeň

Zdroj: Vlastní zpracování

5.4. Koncepce převodovky

Převodovku lze navrhnout jako planetovou. Výhodou těchto převodovek je řazení pod zatížením, takže nedojde k přerušení momentového toku. Mezi další výhody patří, že hnací moment se rozloží na několik satelitů, takže v ozubení působí menší síly a modul ozubení je tedy menší než u klasické převodovky. Prostor pro převodovku, ve kterém je uloženo planetové soukolí, je velmi dobře využit. Nevýhodou je pouze její vysoká složitost a velký počet součástí při velkém počtu převodových stupňů.⁹ Řazení probíhá zastavením jednotlivých kol v planetové převodovce.¹⁰

Klasicky řazené převodovky se pro svoji jednoduchost prosadily jako převodovky s předlohou hřídelí. Mohou být buď dvouhřídelové (deaxiální) nebo tříhřídelové (koaxiální). U dvouhřídelové převodovky je vždy moment přenášen pro všechny rychlostní stupně jedním párem ozubených kol, proto je účinnost takové převodovky velmi dobrá. Jedinou výjimkou je nejvyšší rychlostní stupeň.

Tříhřídelové převodovky přenáší točivý moment pomocí malého ozubeného kola, které je ve stálém záběru s největším kolem předlohou hřídele. Předlohový hřídel má tolik ozubených kol, kolik je rychlostních stupňů převodovky.¹¹

Řazení u klasické převodovky je realizováno pomocí přesouvání ozubených kol do záběru, kde se musí řešit rozdílné otáčky jednotlivých ozubených kol. Rozdílné otáčky se řeší pomocí synchronizace převodů, kdy tření na kuželové synchronizační spojce vyrovná otáčky obou kol. Způsob řazení pomocí přesuvných kol patří mezi nejstarší a nejjednodušší způsoby řazení.

Dalším způsobem je řazení pomocí zubových spojek, kde synchronizaci musí řešit obsluha správným přidáním plynu, tak aby vyrovnala otáčky obou ozubených kol. Tento typ řazení se

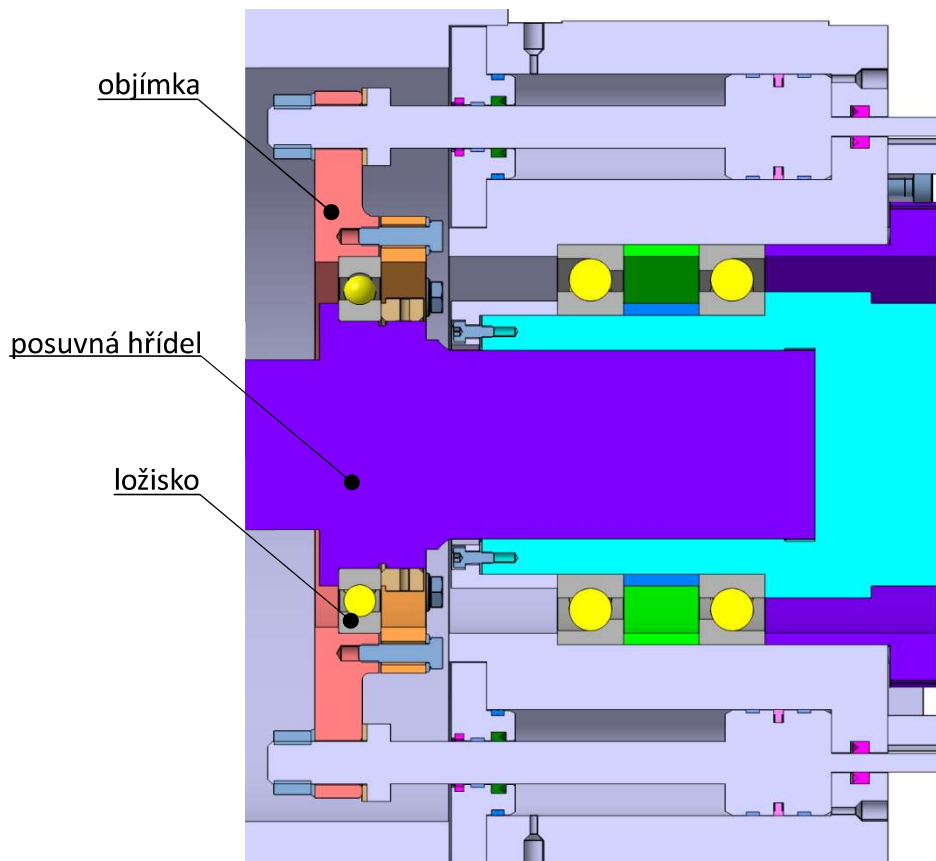
⁹ VLK, F. *Převodová ústrojí motorových vozidel*. Praha: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. s. 133. ISBN 80-238-5275-2

¹⁰ Tamtéž, s. 137-138

¹¹ Tamtéž, s. 73

vyskytuje dnes ojediněle u nákladních aut, protože vyžaduje zručnost obsluhy a je nazýváno jako řazení na dvakrát s „meziplynem“.¹²

Od zadavatele diplomové práce byl dán požadavek na řazení pomocí přesuvného hřídele bez synchronizace otáček. Přesuv hřídele zajišťují dva hydromotory, které jsou přes objímku a kuličkové ložisko spojeny s přesuvným hřídelem, viz. Obrázek 19



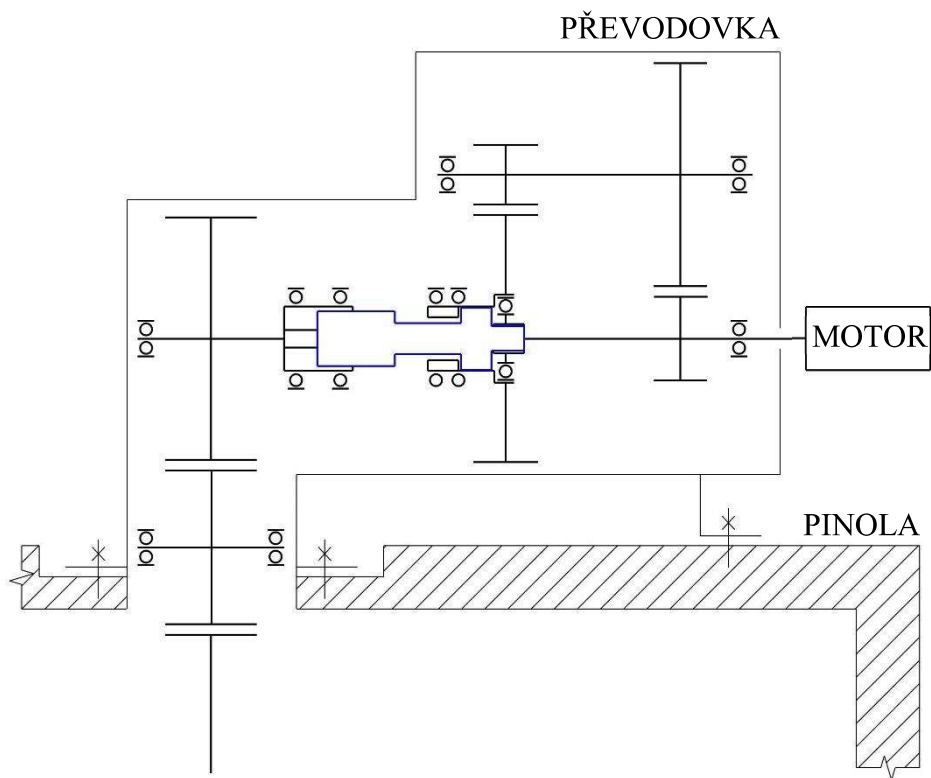
Obrázek 19 Popis posuvné hřídele při řazení

Zdroj: Vlastní zpracování

Tlak v hydromotoru pro řazení je 15 MPa, vnitřní průměr hydromotoru je 32 mm a průměr pístnice je 18 mm. Na přesuvném hřídeli je pro řazení použito evolventní drážkování, které má náběžné hrany zkoseny do šípovitého tvaru se zaoblenou špičkou pro lepší navedení drážkování do sebe

¹² VLK, F. *Převodová ústrojí motorových vozidel*. Praha: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. s. 76-78. ISBN 80-238-5275-2

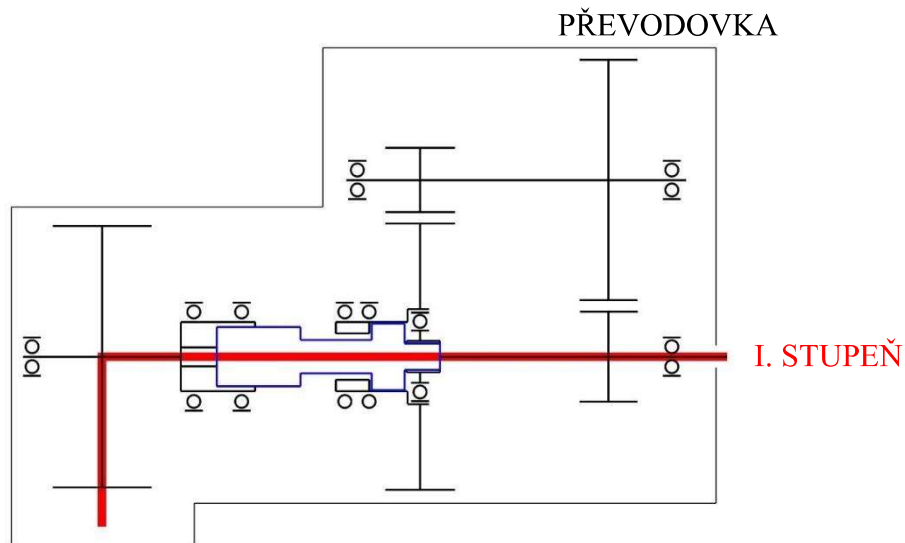
Řazení probíhá pomocí modrého hřídele, který je přesuvný, viz. Obrázek 20.



Obrázek 20 Kinematické schéma navrhované převodovky

Zdroj: Vlastní zpracování

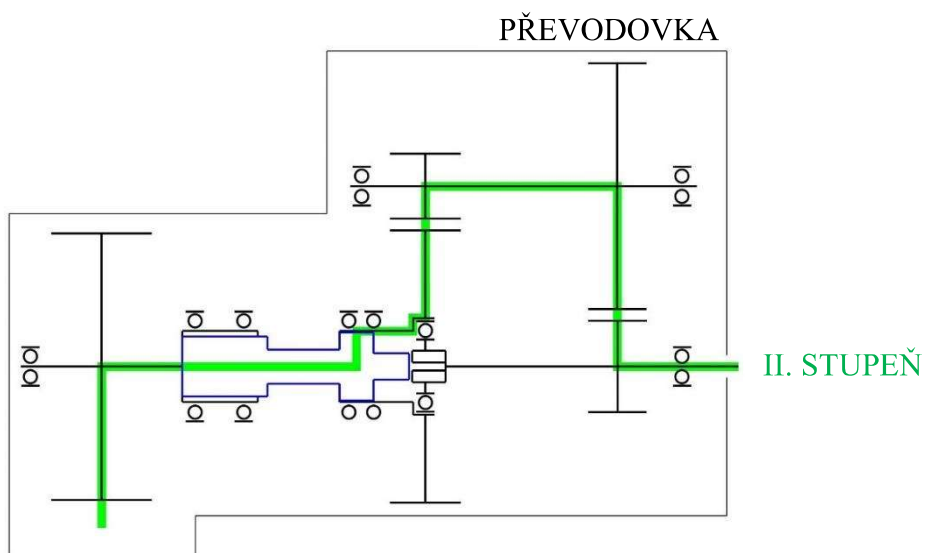
Zařazení prvního převodového stupně je, pokud je přesuvný hřídel vpravo, viz Obrázek 21.



Obrázek 21 Zařazení I. STUPNĚ

Zdroj: Vlastní zpracování

Zařazení druhého převodového stupně je, pokud je přesuvný hřídel vlevo, viz Obrázek 22.

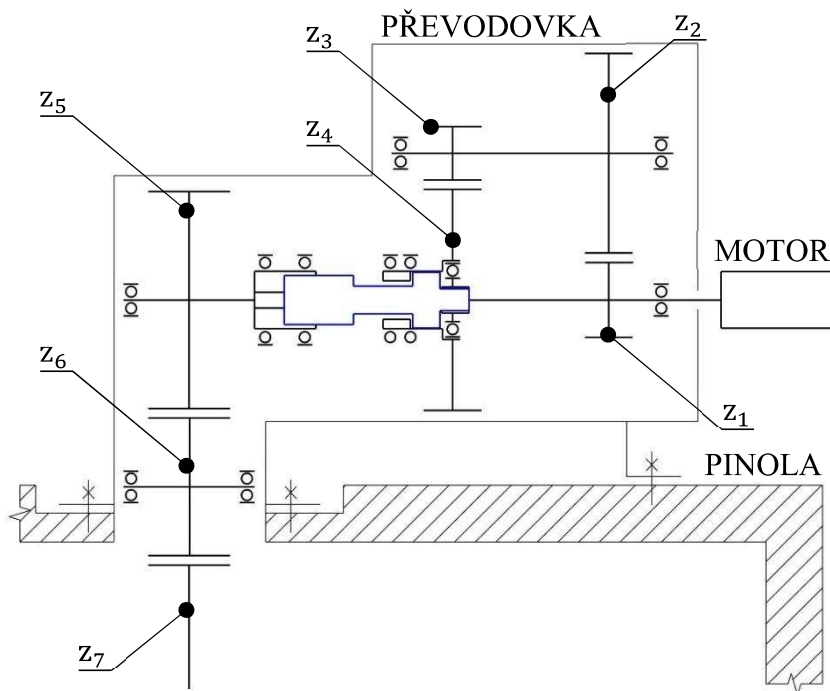


Obrázek 22 Zařazení II. STUPNĚ

Zdroj: Vlastní zpracování

6 Konstrukce optimální varianty

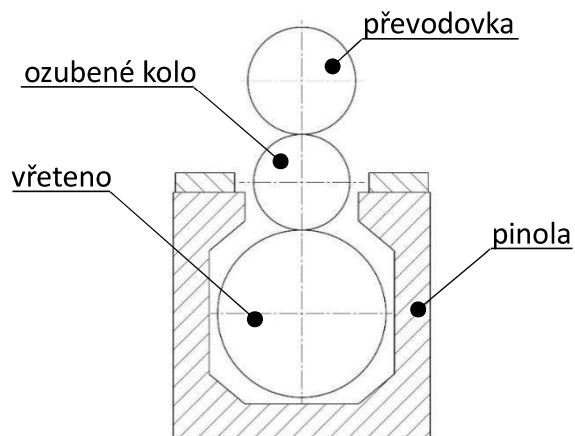
Označení jednotlivých ozubených kol v převodovce je na Obrázku 23.



Obrázek 23 Popis navrhované převodovky

Zdroj: Vlastní zpracování

Museli jsme vycházet z vnitřního rozměru pinoly pro vřeteno, kde jsme propojili převodovku s vřetenem pomocí ozubeného kola, viz. Obrázek 24.



Obrázek 24 Propojení převodovky s vřetenem

Zdroj: Vlastní zpracování

Maximální vnitřní průměr pinoly je 420 mm z Obrázku 12. Dále jsme omezeni průchodem pro ozubené kolo, které spojuje převodovku s vřetenem, rozměr průchodu činí 250 mm.

Zvolené parametry ozubeného kola na vřetení.

$$D_{a7 \max} = 375 \text{ mm}$$

$$m_n = 5 \text{ mm}$$

$$\beta = 10^\circ$$

$$z_7 = (D_{a7 \max} - 2 \cdot m_n) \cdot \frac{\cos \beta}{m_n} = (375 - 2 \cdot 5) \cdot \frac{\cos 10^\circ}{5} = 71,891$$

volím $z_7 = 72$

$$D_7 = \frac{m_n \cdot z_7}{\cos \beta} = \frac{5 \cdot 72}{\cos 10^\circ} = 365,554 \text{ mm}$$

Protože jsme zvolili převod mezi vřetenem a převodovkou, dále jen finální převod.

$$i_{rs} = 1,8$$

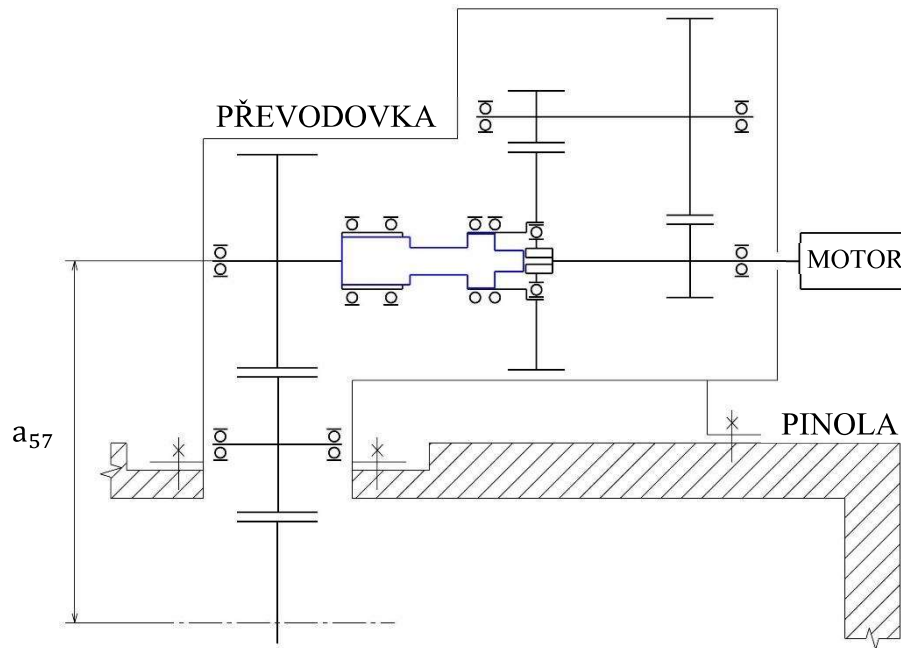
$$z_5 = \frac{z_7}{i_{rs}} = \frac{72}{1,8} = 40$$

volím $z_5 = 40$

Roztečný průměr finálního pastorku

$$D_5 = \frac{m_n \cdot z_5}{\cos \beta} = \frac{5 \cdot 40}{\cos 10^\circ} = 203,085 \text{ mm}$$

$$\text{skutečný finální převod: } i_{rs} = \frac{z_7}{z_5} = \frac{72}{40} = 1,8$$



Obrázek 25 Osová vzdálenost mezi osou převodovky a vřetena

Zdroj: Vlastní zpracování

Z důvodu konstrukce vřeteníku a požadovaného uchycení elektromotoru od výrobce volím $a_{57} = 555$ mm.

$$z_6 = \frac{a_{57} \cdot \cos \beta}{m_n} - \frac{z_5 + z_7}{2} = \frac{555 \cdot \cos 10^\circ}{5} - \frac{40 + 72}{2} = 53,314$$

volím $z_6 = 51$

7 Výpočtový model

Výpočet byl proveden v programu KISSys/KISSsoft. V programu KISSys/KISSsoft jsou spočítána jak ozubená kola, tak zkontrolováno napětí na jednotlivých hřídelích. Jsou spočítány jednotlivé deformace pod ozubenými koly a jejich natočení při zatížení. Ozubená kola jsou mazána olejovou mlhou, kde by mazání tukem nevyhovělo z pohledu oteplení. Ložiska vyhovují pro mazání tukem, ale kdyby došlo k promísení tuku a oleje, selhalo by mazání ozubených kol. Selhání mazání ozubených kol by mělo za následek zadření převodovky. Protože jde o hlavní náhon vyvrtávacího stroje, tak je předpoklad, že převodovka bude běžet v rádech dní. Zadření hlavního pohonu vyvrtávacího stroje by vedlo k jeho odstavení a ztrátám výrobního podniku. Z tohoto důvodu volím mazání jak ložisek, tak i ozubených kol olejovou mlhou. Olejová mlha vzniká vstříknutím kapiček oleje spolu se vzduchem. Způsob mazání olejovou mlhou je vhodnější pro větší otáčky ložisek a ozubených kol.

7.1. Výpočet ozubených kol

Jednotlivé hodnoty ozubených kol jsou uvedeny v Tabulkách č. 6, č.7, č.8. Výstupní hodnoty jsou uvedeny v protokolu (Příloha č. 2).

[P2] Příloha č.2 Protokol KISSsoft			
Parametry	Značení	Kolo 1	Kolo 2
Materiál dle ČSN		16 326	16 326
Počet zubů	z	44	106
Převodový poměr	i_{12}	2,4	
Normálový modul [mm]	m_n	2,5	2,5
Úhel záběru [°]	α	20	20
Úhel sklonu zubů [°]	β	20	20
Průměr roztečné kružnice [mm]	d	117,060	282,007
Průměr hlavové kružnice [mm]	d_a	122,939	287,053
Průměr patní kružnice [mm]	d_f	111,697	275,811
Korekce [mm]	x	0,1774	0,0107
Osová vzdálenost [mm]	a	200	
šířka kola [mm]	b	42	40
Bezpečnost na ohyb	SF	1,61	1,44
Bezpečnost na dotyk	SH	1,68	1,80
Nejméně příznivý zatěžující stav		Zatěžovací stav 1	

Tabulka 7 Parametry ozubení 1-2

Zdroj: Vlastní zpracování

[P2] Příloha č.2 Protokol KISSsoft			
Parametry	Značení	Kolo 3	Kolo 4
Materiál dle ČSN		16 326	16 326
Počet zubů	z	28	64
Převodový poměr	i_{12}	0,438	
Normálový modul [mm]	m_n	4	4
Úhel záběru [°]	α	20	20
Úhel sklonu zubů [°]	β	20	20
Průměr roztečné kružnice [mm]	d	119,188	272,430
Průměr hlavové kružnice [mm]	d_a	130,518	284,923
Průměr patní kružnice [mm]	d_f	113,078	267,483
Korekce [mm]	x	0,4863	0,6317
Osová vzdálenost [mm]	a	200	
šířka kola [mm]	b	53	51
Bezpečnost na ohyb	SF	1,396	1,318
Bezpečnost na dotyk	SH	1,359	1,456
Nejméně příznivý zatěžující stav		Zatěžovací stav 1	

Tabulka 8 Parametry ozubení 3-4

Zdroj: Vlastní zpracování

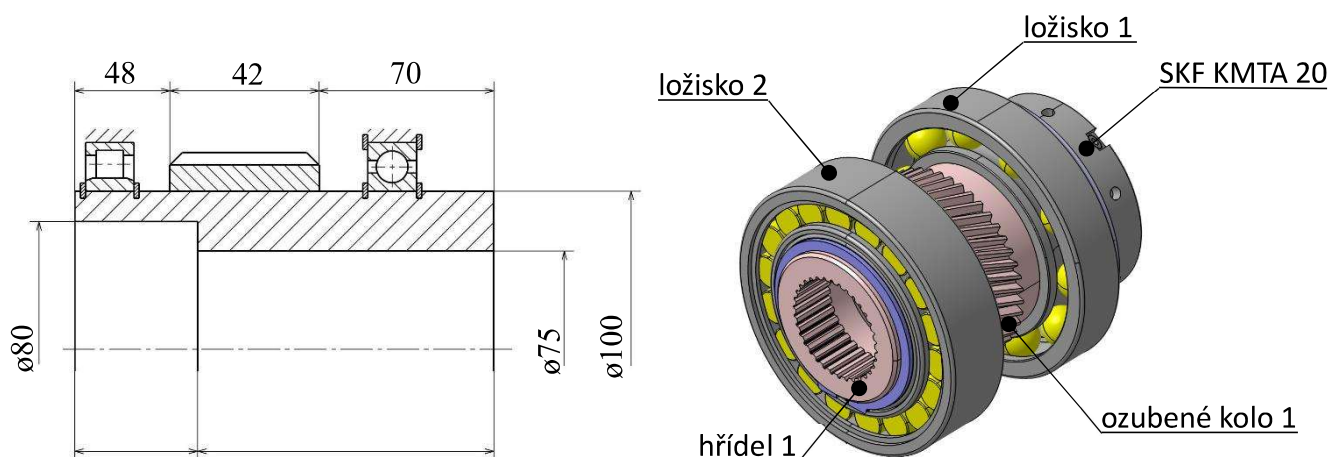
[P2] Příloha č.2 Protokol KISSsoft				
Parametry	Značení	Kolo 5	Kolo 6	Kolo 7
Materiál dle ČSN		16 326	16 326	16 326
Počet zubů	z	40	51	72
Převodový poměr	i_{12}	1,22		1,46
Normálový modul [mm]	m_n	5	5	5
Úhel záběru [°]	α	20	20	20
Úhel sklonu zubů [°]	β	10	10	10
Průměr roztečné kružnice [mm]	d	203,085	258,934	365,554
Průměr hlavové kružnice [mm]	d_a	219,706	274,884	377,707
Průměr patní kružnice [mm]	d_f	198,616	253,794	355,711
Korekce [mm]	x	0,8031	0,7360	0,2657
Osová vzdálenost [mm]	a	238		317
šířka kola [mm]	b	115	118	115
Bezpečnost na ohyb	SF	2,47	1,783	2,529
Bezpečnost na ohyb	SH	2,108	2,151	2,529
Nejméně příznivý zatěžující stav		Zatěžovací stav 1		

Tabulka 9 Parametry ozubení 5-7

Zdroj: Vlastní zpracování

7.2. Souhmotí hřídele 1

Souhmotí hřídele 1 se skládá s hřídele 1, ozubeného kola 1 a jednořadého kuličkového ložiska 1 a válečkového ložiska 2. Motor je nasunut do vnitřního prostoru hřídele, výstupní průměr hřídele z elektromotoru 1PH8228-1DC03 je 75mm. Přenos kroutícího momentu na hřídel 1 zajišťuje těsné pero vyhotovené podle výrobce. Uvnitř hřídele 1 je vytvořené evolventní drážkování, které slouží pro zařazení 2. stupně.



Obrázek 26 Sestava souhmotí hřídele 1

Zdroj: Vlastní zpracování

[P2] Příloha č.2 Protokol KISSsoft				
Materiál dle ČSN			16 326	
Parametr	Značení	Jednotka	Vypočtená hodnota	Dovolená hodnota
Mez kluzu	Re	MPa	685	
Kontrolní výpočet				
Maximální redukované napětí	σ_{red}	MPa	100	
Součinitel bezpečnosti proti mezi kluzu	k		6,85	2
Posunutí hřídele v místě záběru kola 1	u_{xz}	mm	0,0082	0,025
Sklon v místě kola	φ_k	mrad	0,56	5
Hodnocení	Vyhovuje			

Tabulka 10 Parametry hřídele 1

Zdroj: Vlastní zpracování

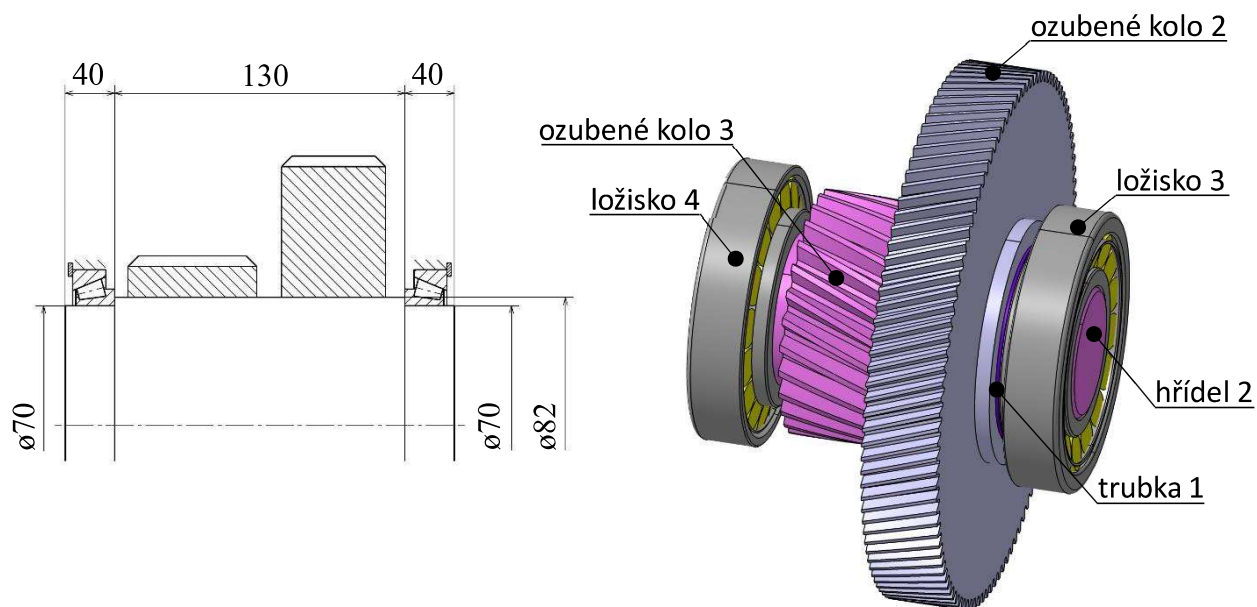
[P2] Příloha č.2 Protokol KISSsoft				
Parametry			Ložisko 1	Ložisko 2
Typ			SKF 6220	SKF N 220 ECP
Vnitřní průměr	d	mm	100	100
Vnější průměr	D	mm	180	180
Šířka	B	mm	34	34
Kontrolní výpočty				
Trvanlivost	L_h	hod	12 744	45 162
Součinitel statické bezpečnosti	s_0		5,303	7,655
Sklon v místě ložiska	φ_1	mrad	0,5302	0,6041
Dovolená hodnota sklonu	φ_{1D}	mrad	26	8
Hodnocení	Vyhovuje			

Tabulka 11 Parametry ložisek pro hřídele 1

Zdroj: KISSsoft

7.3. Souhmotí hřídele 2

Souhmotí hřídele 2 obsahuje hřídel 2, jednořadé kuželíkové ložisko 3 a jednořadé kuželíkové ložisko 4. Přenos kroutícího momentu z hřídele 2 na ozubené kolo 3 zajišťuje rovnoboké drážkování. Ozubené kolo je axiálně zajištěno pomocí trubky 1, která je opřena o ložisko 3.



Obrázek 27 Sestava souhmotí hřídele 2

Zdroj: Vlastní zpracování

[P2] Příloha č.2 Protokol KISSsoft				
Materiál dle ČSN []			12 050	
Parametr	Značení	Jednotka	Vypočtená hodnota	Dovolená hodnota
Mez kluzu	Re	MPa	370	
Kontrolní výpočet				
Maximální redukované napětí	σ_{red}	MPa	100	
Součinitel bezpečnosti proti mezi kluzu	k		3,7	2
Posunutí hřídele v místě záběru kola 2	u_{xz}	mm	0,024	0,025
Posunutí hřídele v místě záběru kola 3	u_{xz}	mm	0,025	0,025
Sklon v místě kola 2	φ_k	mrad	0,568	5
Sklon v místě kola 3	φ_k	mrad	0,451	5
Hodnocení	Vyhovuje			

Tabulka 12 Parametry hřídele 2

Zdroj: KISSsoft

[P2] Příloha č.2 Protokol KISSsoft				
Parametry			Ložisko 3	Ložisko 4
Typ			SKF 30314	SKF 30314
Vnitřní průměr	d	mm	70	70
Vnější průměr	D	mm	150	150
Šířka	B	mm	38	38
Kontrolní výpočty				
Trvanlivost	L_h	hod	1 000 000	26 360
Součinitel statické bezpečnosti	s_0		83,291	6,51
Sklon v místě ložiska	φ_l	mrad	0,569	0,451
Dovolená hodnota sklonu	φ_{1D}	mrad	5	5
Hodnocení	Vyhovuje			

Tabulka 13 Parametry ložisek pro hřídele 2

Zdroj: KISSsoft

Spojení hřídele 2 s ozubeným kolem 2 je pomocí rovnobokého drážkování z důvodu smontovatelnosti. Rovnoboké drážkování je zhotoveno podle normy ČSN 01 4942. Axiální posuv je zajištěn opřením vymezovacího kroužku o ložisko.

Parametry:

Výkon elektromotoru: $P = 115 \text{ kW}$

jmenovité otáčky: $n_e = 1\,000 \text{ min}^{-1}$

počet zubů na kole 1: $z_1 = 44$

počet zubů na kole 2: $z_2 = 106$

účinnost ozubeného převodu: $\eta = 0,98$

převodový poměr:

$$i_{12} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{106}{44} = 2,409$$

otáčky na kole 2

$$n_{1 \text{ min}} = \frac{n_e}{i_{12}} = \frac{1\,000}{2,409} = 415 \text{ min}^{-1}$$

Moment na kole 2

$$M_2 = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n_{1 \text{ min}}} \cdot \eta = \frac{115 \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot \frac{415}{60}} \cdot 0,98 = 2,6 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Rozměry dle ČSN 01 4942

$D = 88 \text{ mm}, d = 82 \text{ mm}, N = 10$

volím opravný koeficient $\psi = 0,7$

volím dovolený stykový tlak: $p_D = 60 \text{ MPa}$

$$h = \frac{D - d}{2} = \frac{88 - 82}{2} = \frac{6}{2} = 3 \text{ mm}$$

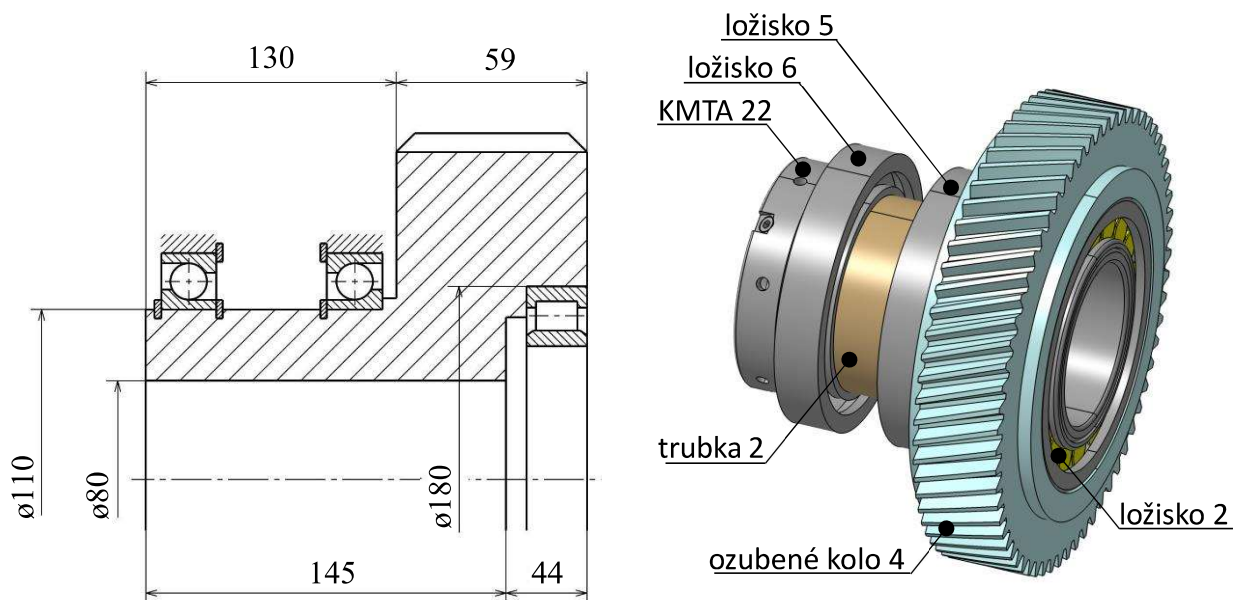
$$s = N \cdot h \cdot \psi = 10 \cdot 3 \cdot 0,7 = 21 \text{ mm}$$

$$l_v = \frac{4 \cdot M_2}{s \cdot p_D \cdot (D + d)} = \frac{4 \cdot 3 \cdot 10^3}{21 \cdot 60 \cdot (88 + 82)} = 48,4 \text{ mm}$$

volím $l = 49 \text{ mm}$

7.4. Souhmotí hřídele 3

Souhmotí hřídele 3 obsahuje hřídel 3, která je v celku s ozubeným kolem 4. Ozubené kolo 4 je spojeno s hřídelí 1 přes ložisko 2. Ložisko 2 je uloženo ve vnitřku ozubeného kola 4. Na ozubeném kole 4 zvnějšku je jednořadé kuličkové ložisko 5 s kosoúhlým stykem a ložisko 6, které je stejné. Ložiska 5 a 6 jsou uspořádána do „O“. Ložiska 5 a 6 jsou axiálně zajištěna pojistnou maticí KMTA 22 a rozpěrnou trubkou 2.



Obrázek 28 Sestav souhmotí hřídele 3

Zdroj: Vlastní zpracování

[P2] Příloha č.2 Protokol KISSsoft				
Materiál dle ČSN			16 326	
Parametr	Značení	Jednotka	Vypočtená hodnota	Dovolená hodnota
Mez kluzu	Re	MPa	685	
Kontrolní výpočet				
Maximální redukované napětí	σ_{red}	MPa	70	
Součinitel bezpečnosti proti mezi kluzu	k		9,78	2
Posunutí hřídele v místě záběru kola 4	u_{xz}	mm	0,024	0,025
Sklon v místě kola 4	φ_k	mrad	0,8311	5
Hodnocení	Vyhovuje			

Tabulka 14 Parametry hřídele 3

Zdroj: KISSsoft

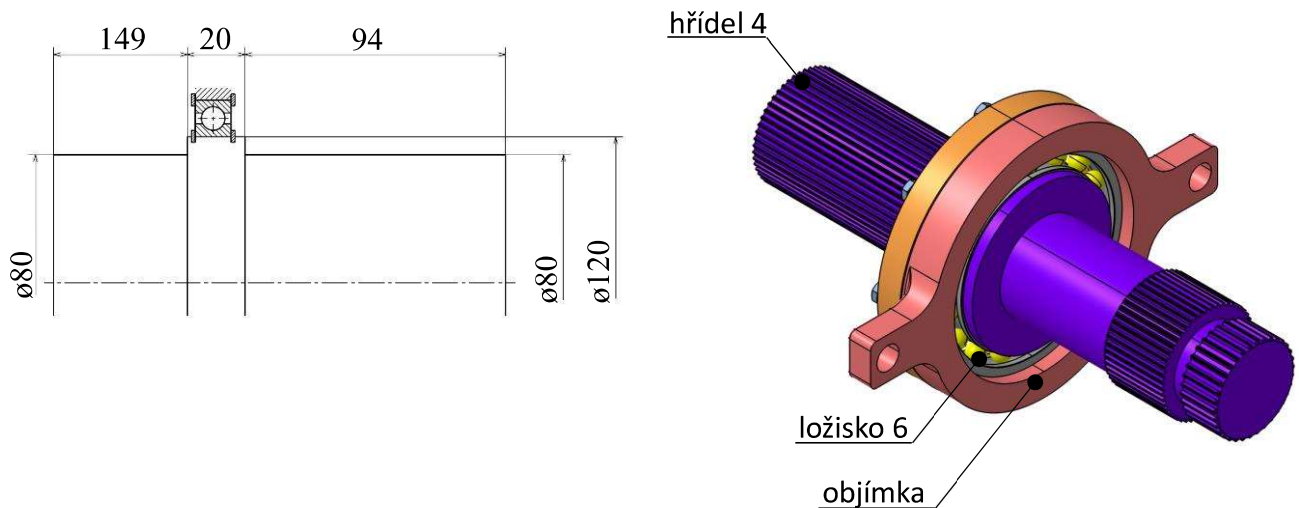
[P2] Příloha č.2 Protokol KISSsoft				
Parametry			Ložisko 5	Ložisko 6
Typ			Koyo 7022C FY	Koyo 7022C FY
Vnitřní průměr	d	mm	110	110
Vnější průměr	D	mm	170	170
Šířka	B	mm	28	28
Kontrolní výpočty				
Trvanlivost	L_h	hod	247 041	30 146
Součinitel statické bezpečnosti	s_0		7,611	6,263
Sklon v místě ložiska	φ_1	mrad	0,8447	0,8113
Dovolená hodnota sklonu	φ_{ID}	mrad	26	26
Hodnocení	Vyhovuje			

Tabulka 15 Parametry ložisek pro hřídele 3

Zdroj: KISSsoft

7.5. Souhmotí hřídele 4

Hřídel 4 je posuvná a má funkci samotného řazení z 1. stupně na 2. stupeň. Hřídel 4 má dvě evolventní drážkování pro každý zařazený stupeň. Uprostřed hřídele je ložisko, které slouží přes objímku k posuvu hřídele.



Obrázek 29 Sestava souhmotí pro hřídele 4

Zdroj: Vlastní zpracování

[P2] Příloha č.2 Protokol KISSsoft				
Materiál dle ČSN []			12 050	
Parametr	Značení	Jednotka	Vypočtená hodnota	Dovolená hodnota
Mez kluzu	Re	MPa	370	
Kontrolní výpočet				
Maximální redukované napětí	σ_{red}	MPa	100	
Součinitel bezpečnosti proti mezi kluzu	k		3,7	2
Hodnocení	Vyhovuje			

Tabulka 16 Parametry hřídele 4

Zdroj: KISSsoft

[P2] Příloha č.2 Protokol KISSsoft			
Parametry			Ložisko 5
Typ			SKF 16021
Vnitřní průměr	d	mm	105
Vnější průměr	D	mm	160
Šířka	B	mm	18
Trvanlivost	L_h	hod	
Součinitel statické bezpečnosti	s_0		
Sklon v místě ložiska	φ_1	mrاد	
Dovolená hodnota sklonu	φ_{1D}	mrاد	
Hodnocení	Vyhovuje		

Tabulka 17 Parametry ložiska pro hřídele 4

Zdroj: KISSsoft

Na hřídeli 4 je evolventní drážkování, které má zkosené náběžné hrany, kvůli lepšímu zařazení.

2.stupeň

Parametry

Výkon elektromotoru: $P = 115 \text{ kW}$

jmenovité otáčky: $n_e = 1\,000 \text{ min}^{-1}$

počet zubů na kole 1: $z_1 = 44$

počet zubů na kole 2: $z_2 = 106$

počet zubů na kole 3: $z_3 = 28$

počet zubů na kole 4: $z_4 = 64$

účinnost ozubeného převodu: $\eta = 0,98$

převodový poměr

$$i_{14} = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_4}{z_3} = \frac{106}{44} \cdot \frac{64}{28} = 5,506$$

otáčky na kole 4

$$n_{4 \text{ min}} = \frac{n_e}{i_{14}} = \frac{1\,000}{5,506} = 182 \text{ min}^{-1}$$

Moment na kole 2

$$M_4 = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n_{4 \text{ min}}} \cdot \eta^2 = \frac{115 \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot \frac{182}{60}} \cdot 0,98^2 = 5,8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Dle ČSN 01 4952

$D = 80 \text{ mm}$; $z = 52$ zubů, $m = 1,5$

volím opravný koeficient $\psi = 0,7$

volím dovolený stykový tlak: $p_D = 60 \text{ MPa}$

$h = 0,9 \cdot m = 0,9 \cdot 1,5 = 1,35 \text{ mm}$

$$r = \frac{m \cdot z}{2} = \frac{1,5 \cdot 52}{2} = 39 \text{ mm}$$

$$l_v = \frac{M_4}{\psi \cdot p_D \cdot z \cdot r \cdot h} = \frac{5,8 \cdot 10^6}{0,7 \cdot 60 \cdot 52 \cdot 39 \cdot 1,35} = 50,5 \text{ mm}$$

volím $l = 51 \text{ mm}$

1.stupeň

$$\text{jmenovitý moment na motoru: } M_e = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n_e} = \frac{115 \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot \frac{182}{60}} = 1\,098 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Dle ČSN 01 4952

$D = 70 \text{ mm}$, $z = 34$ zubů, $m = 2$

volím opravný koeficient $\psi = 0,7$

volím dovolený stykový tlak: $p_D = 60 \text{ MPa}$

$$h = 0,9 \cdot m = 0,9 \cdot 2 = 1,8 \text{ mm}$$

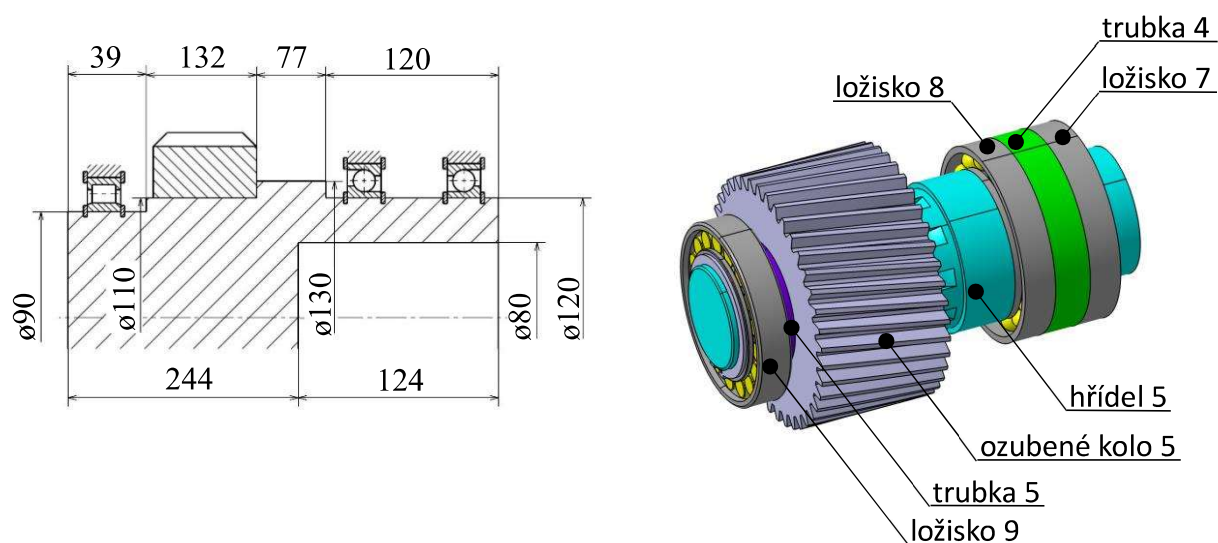
$$r = \frac{m \cdot z}{2} = \frac{2 \cdot 34}{2} = 34 \text{ mm}$$

$$l_v = \frac{M_4}{\psi \cdot p_D \cdot z \cdot r \cdot h} = \frac{1\,098 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 60 \cdot 34 \cdot 34 \cdot 1,8} = 29,6 \text{ mm}$$

volím $l = 30 \text{ mm}$

7.6. Souhmotí hřídele 5

Hřídel 5 obsahuje ozubené kolo 5 a dvojici kuličkových jednořadých ložisek 7, 8 a také jednořadé válečkové ložisko 9. Hřídel 5 má vnitřní posuvné evolventní drážkování, které dovoluje posuv hřídele při řazení 1. a 2. rychlostního stupně. Axiálnímu posuvu kola 5 brání trubka 5, která je opřena o jednořadé válečkové ložisko 9. Ložiska 7,8 jsou kvůli montáži od sebe oddělena trubkou 3 na vnitřním průměru hřídele 5 a na vnějším průměru trubkou 4. Přenos krouticího momentu z hřídele 5 na ozubené kolo 5 je realizován pomocí rovnobokého drážkování.



Obrázek 30 Sestava souhmotí pro hřídele 5

Zdroj: Vlastní zpracování

[P2] Příloha č.2 Protokol KISSsoft				
Materiál dle ČSN			12 050	
Parametr	Značení	Jednotka	Vypočtená hodnota	Dovolená hodnota
Mez kluzu	Re	MPa	370	
Kontrolní výpočet				
Maximální redukované napětí	σ_{red}	MPa	100	
Součinitel bezpečnosti proti mezi kluzu	k		3,7	2
Posunutí hřídele v místě záběru kola 5	u_{xz}	mm	0,025	0,025
Sklon v místě kola 5	φ_k	mrاد	0,135	5
Hodnocení	Vyhovuje			

Tabulka 18 Parametry hřídele 5

Zdroj: KISSsoft

[P2] Příloha č.2 Protokol KISSsoft					
Parametry			Ložisko 7	Ložisko 8	Ložisko 9
Typ			Koyo 7022C FY	Koyo 7022C FY	SKF N 218 ECP
Vnitřní průměr	d	mm	110	110	90
Vnější průměr	D	mm	170	170	160
Šířka	B	mm	28	28	30
Kontrolní výpočty					
Trvanlivost	L_h	hod	1 000 000	37 326	111 322
Součinitel statické bezpečnosti	s_0		81,318	4,054	6,313
Sklon v místě ložiska	φ_1	mrاد	0,2714	0,2694	0,0870
Dovolená hodnota sklonu	φ_{1D}	mrاد	26	26	8
Hodnocení	Vyhovuje				

Tabulka 19 Parametry ložiska pro hřídele 5

Zdroj: KISSsoft

Přenos kroutícího momentu z hřídele 5 na ozubené kolo 5 je realizován pomocí rovnobokého drážkování.

$$M_4 = 5,8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

dle ČSN ISO 01 4942

$$d = 102 \text{ mm}, D = 108 \text{ mm}, N = 10$$

volím opravný koeficient $\psi = 0,7$

volím dovolený stykový tlak: $p_D = 60 \text{ MPa}$

$$h = \frac{D - d}{2} = 3 \text{ mm}$$

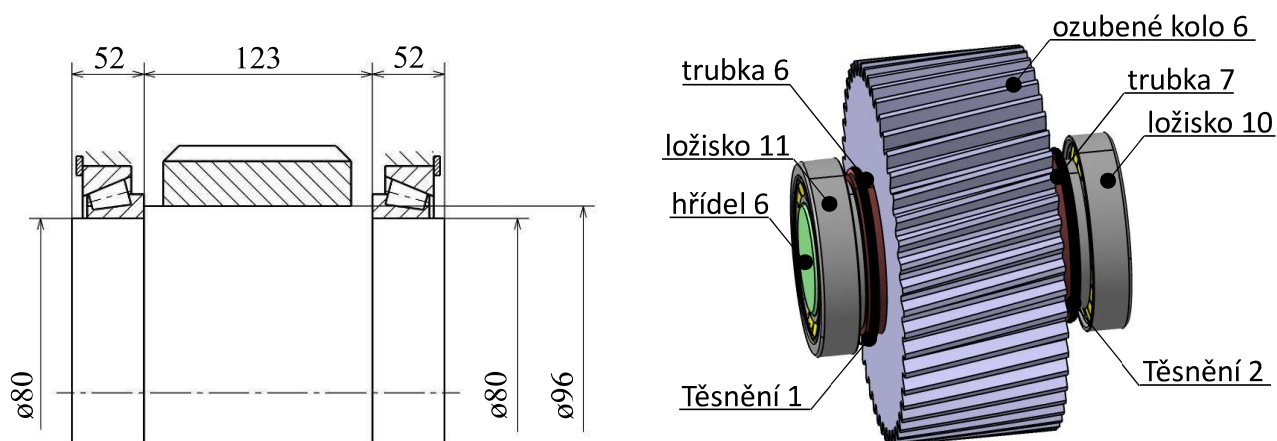
$$s = N \cdot h \cdot \psi = 10 \cdot 3 \cdot 0,7 = 21 \text{ mm}$$

$$l_v = \frac{4 \cdot M_4}{s \cdot p_D \cdot (D + d)} = \frac{4 \cdot 5,8 \cdot 10^6}{21 \cdot 60 \cdot (108 + 102)} = 87,8 \text{ mm}$$

volím $l = 90 \text{ mm}$

7.7. Souhmotí hřídele 6

Souhmotí hřídele 6 obsahuje hřídel 6, ozubené kolo 6 a dvě jednořadá kuželové ložiska 10, 11 uspořádané do „O”. Axiální posuv ozubeného kola je zajištěn trubkou 6 a 7. Přenos kroutícího momentu na ložiska zajišťuje těsné pero.



Obrázek 31 Sestava souhmotí pro hřídele 6

Zdroj: KISSsoft

[P2] Příloha č.2 Protokol KISSsoft				
Materiál dle ČSN			12 050	
Parametr	Značení	Jednotka	Vypočtená hodnota	Dovolená hodnota
Mez kluzu	Re	MPa	370	
Kontrolní výpočet				
Maximální redukované napětí	σ_{red}	MPa	40	
Součinitel bezpečnosti proti mezi kluzu	k		9,25	2
Posunutí hřídele v místě záběru kola 6	u_{xz}	mm	0.0208	0,025
Sklon v místě kola 6	φ_k	mrad	0.0457	5
Hodnocení	Vyhovuje			

Tabulka 20 Parametry hřídele 6

Zdroj: KISSsoft

[P2] Příloha č.2 Protokol KISSsoft				
Parametry			Ložisko 10	Ložisko 11
Typ			SKF 32 216	SKF 32 216
Vnitřní průměr	d	mm	80	80
Vnější průměr	D	mm	140	140
Šířka	B	mm	35,25	35,25
Kontrolní výpočty				
Trvanlivost	L_h	hod	38 723	38 491
Součinitel statické bezpečnosti	s_0		4,344	4,336
Sklon v místě ložiska	φ_1	mrاد	0,193	0,193
Dovolená hodnota sklonu	φ_{1D}	mrاد	26	26
Hodnocení	Vyhovuje			

Tabulka 21 Parametry ložiska pro hřídele 6

Zdroj: KISSsoft

8 Skříň převodovky

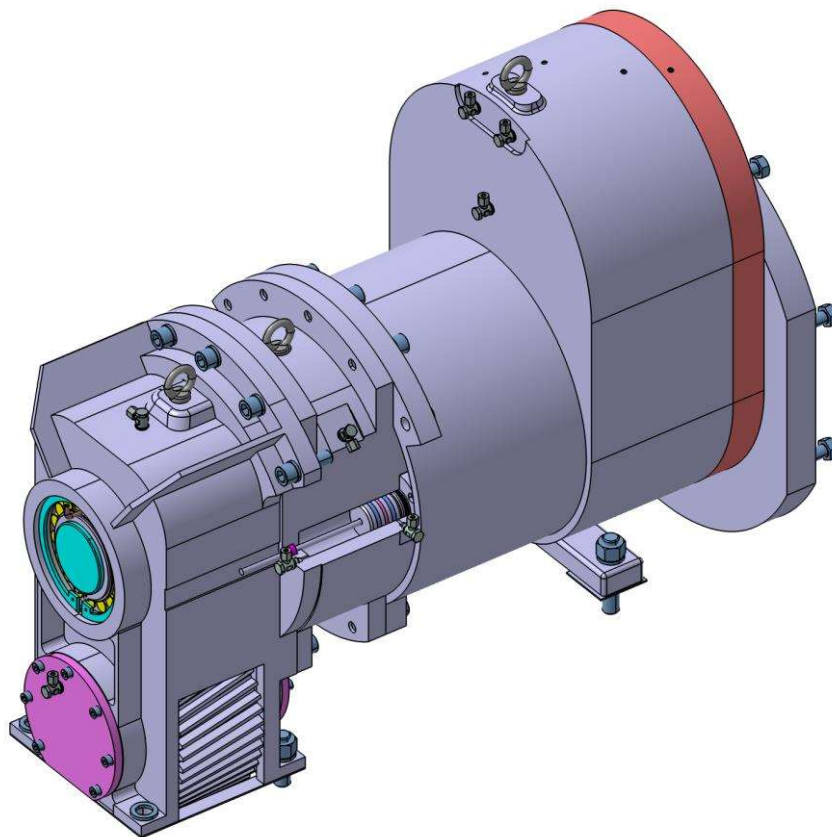
Skříň převodovky se skládá ze třech dílů, které jsou spolu spojeny pomocí šroubového spoje. Střední díl má v sobě ještě dva hydromotory, které jsou pro přesun hřídele. Přesuvem hřídele dojde k zařazení 2. stupně. Rozdělení skříně převodovky je nutné také z pohledu montáže a z pohledu výroby. Parametry hydromotoru od ŠMT jsou dány v Tabulce 21.

Parametry			
Tlak	p	MPa	15
Průměr pístu	D	mm	32
Průměr pístnice	d	mm	18

Tabulka 22 Parametry hydromotorů

Zdroj: Korespondence ŠMT a.s.

Samotný hydromotor je umístěný ve středním dílu skříně převodovky a je jeho samotnou součástí, viz. Obrázek 32

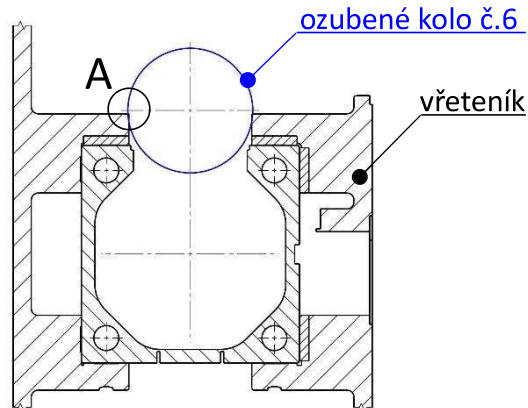


Obrázek 32 Poloha hydromotoru

Zdroj: Vlastní zpracování

9 Závěr

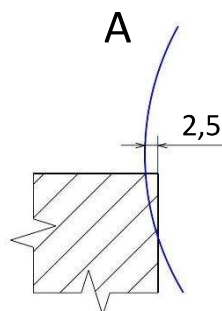
Navrhnutá varianta má kolizi mezi vřeteníkem a ozubeným kolem z_6 na finálním převodu, který přenáší krouticí moment z převodovky do pinoly, viz Obrázek. 33. Patní kružnice je 274,884 mm, zatímco mezera mezi hydrostatickým vedením je pouze 270 mm.



Obrázek 33 Popis kolize ozubeného kola 6 a vřeteníkem

Zdroj: Vlastní zpracování

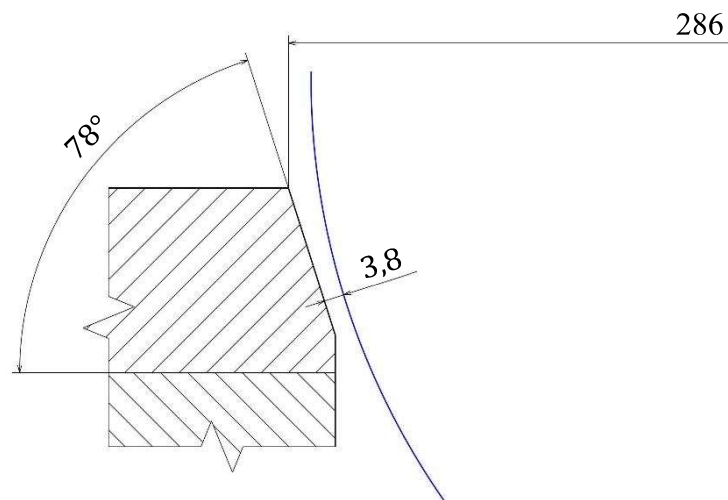
Při zobrazení detailu A je patrné, že velikost kolize mezi vřeteníkem a ozubeným kolem č.6 je o velikosti 2,5 mm na každé straně. viz. Obrázek 34



Obrázek 34 Detail A

Zdroj: Vlastní zpracování

Možným řešením je udělat dlouhé zkosení pod 12° , které odebere přebytečný materiál ve vřeteníku, viz Obrázek 35.



Obrázek 35 Úprava vřeteníku

Zdroj: Vlastní zpracování

9.1. Technické parametry

Od zadavatele Diplomové práce ŠMT a.s. jsou kladeny technické parametry, jako jsou požadovaný minimální moment na vřetení a maximální otáčky viz Tabulka 22. Požadované technické parametry jsem splnil.

[P1] Příloha č.1 Základní návrh ozubení a zatěžujícího spektra				
Parametry			Dosažované	Požadované
Minimální moment na vřetení	M	N · m	10 040	10 000
Maximální otáčky na vřetenu	n	ot/min	2 500	2 500

Tabulka 23 Požadované a dosažené hodnoty

Zdroj: Vlastní zpracování

9.2. Technicko-ekonomické hodnocení

Z pohledu technicko-ekonomického hlediska došlo k zmenšení převodovky díky většímu otáčkovému rozsahu nového motoru. To má za následek zmenšení převodové skříně a tím i zlevnění výroby. Srovnání obou variant převodovek je uvedeno v Tabulce 23.

	Navrhovaná	Stávající
Počet rychlostních stupňů	2	3
Počet použitých ložisek	12	14
Počet hřídelí	6	11
Hmotnost skříně [kg]	349	900

Tabulka 24 Technicko-ekonomické hodnocení

Zdroj: Korespondence ŠMT a.s.

Seznam použitých zdrojů

MAREK, J. a kol. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM Publishing, s.r.o., 2014. 684 s. ISBN 978-80-260-6780-1

MAREK, J. a kol. *Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0*. Praha: MM Publishing, s.r.o., 2018. 428 s. ISBN 978-80-906310-8-3

VLK, F. *Převodová ústrojí motorových vozidel*. Praha: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000. 311 s. ISBN 80-238-5275-2

Internetové zdroje

FAKTUM DESIGN s.r.o. *Portfolio*. [online]. © 2021 [cit. 2021-11-07]. Dostupné z WWW: http://www.faktumdesign.cz/files/portfolio-images/141151_3.jpg

SIEMENS. *Catalogue*. [online]. © 2021 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z WWW: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/uk/Catalog/Product/1PH8228-1DC03-2AA1>

SIEMENS. *Katalog*. [online]. © 2021 [cit. 2021-12-03]. Dostupné z WWW: <https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/1PH8224-1DF03-0DB1>

SINOVIA CONSULT s.r.o. *Dovoz strojů*. [online]. © 2021 [cit. 2021-11-06]. Dostupné z WWW: <https://dovoz-stroju.cz/upload/cms/gallery/04-horizontal-boring-mala1.jpg>

ŠKODA. *Historie*. [online]. © 2021 [cit. 2021-11-02]. Dostupné z WWW: <https://www.skoda.cz/cs/stranka/historie>

ŠMT a.s. *Horizontální vyvrtávačky. Stroje typu ŠMT HCW 2000-4000*. [online]. © 2021 [cit. 2021-11-18]. Dostupné z WWW: <https://www.cz-smt.cz/cs/produkty/hcw-2000-4000>

ŠMT a.s. *Horizontální vyvrtávačky. Stroje typu ŠMT HCW 2000-4000*. [online]. © 2021 [cit. 2021-11-18]. Dostupné z WWW: https://www.cz-smt.cz/media/k2/galleries/4/05-IMG_9304.jpg

TOS VARNSDORF a.s. *WH(Q) 105 CNC*. [online]. © 2021 [cit. 2021-11-06]. Dostupné z WWW: https://www.tosvarnsdorf.cz/images/gallery/machines/tit_whq-105-cnc.jpg

TOS VARNSDORF a.s. *WHR 13 Q*. [online]. © 2021 [cit. 2021-11-06]. Dostupné z WWW: https://www.tosvarnsdorf.cz/images/gallery/machines/tit_whr_13.jpg

TOS VARNSDORF a.s. *WRD 13(Q)*. [online]. © 2021 [cit. 2021-11-07]. Dostupné z WWW: https://www.tosvarnsdorf.cz/images/gallery/machines/tit_wrd-13a.jpg

TOS VARNSDORF a.s. *Horizontální obráběcí centra. WHT 110 C*. [online]. © 2021 [cit. 2021-11-08]. Dostupné z WWW: https://www.tosvarnsdorf.cz/images/gallery/aktuality/PR-akce/tosmeet2017/wht_04.jpg

VARINELLI S.r.l. *Foratrici verticali plurimandrino*. [online]. © 2021 [cit. 2021-11-15]. Dostupné z WWW: <http://www.varinelli.com/prodotti/foto/foratrice.jpg>

PŘÍLOHA č. 1

Základní návrh ozubení a zatěžujícího spektra

Hlavní pohon HCW 2N

1. Vstupní data

$$P := 100 \cdot \text{kW} \quad \dots \text{min. jmen. výkon}$$

$$n_{M2p} := 2500 \cdot \frac{1}{\text{min}} \quad \dots \text{max. ot. vřetene}$$

$$M_L := 10000 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad \dots \text{omezný moment}$$

$$a_M := 1.26 \quad \dots \text{max. mezistupňový pokles výkonu}$$

$$p := 2 \quad \dots \text{počet rychlostních stupňů}$$

$$\eta := 0.98 \quad \dots \text{účinnost zaberu}$$

$$\eta_{1s} := \eta^4 \quad \dots \text{účinnost 1. stupně - odhad}$$

$$n_{e1} := \frac{P \cdot \eta_{1s}}{2 \cdot \pi \cdot M_L} = 88.08 \frac{1}{\text{min}} \quad \dots \text{jmen. otáčky 1. st. - úvodní návrh}$$

$$r_P := \sqrt{\frac{n_{M2p}}{n_{e1} \cdot a_M}} = 4.746 \quad \dots \text{požadovaný reg. rozsah motoru}$$

2. Motor katalog Siemens

Výběr motoru je určen výkonem, regulačním rozsahem a max. otáčkami a rozměry.

Motor 1PH8228-1DC03

Q=880 kg

d=75mm, u=20mm

$$H := 225 \cdot \text{mm} \quad \dots \text{výška osy motoru}$$

$$P := 115 \cdot \text{kW} \quad \dots \text{výkon motoru}$$

$$n_{max} := 4500 \cdot \text{min}^{-1} \quad \dots \text{max. konstrukční otack}$$

$$n_e := 1000 \cdot \text{min}^{-1} \quad \dots \text{jmen. otack}$$

$$r_P := \frac{n_{max}}{n_e} = 4.5 \quad \dots \text{reg. rozsah pri P=konst}$$

$$M_e := \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n_e} = (1.098 \cdot 10^3) \text{ N} \cdot \text{m} \quad \dots \text{jmen. moment motoru}$$

$$a_{13} := 555 \cdot \text{mm} \quad \dots \text{osová vzdálenost kol finálního převodu (a12+a23) dle náčrtu Rez_final:}$$

$H_{pin} := 480 \cdot mm$...rozměr pinoly (výška)

$\Delta := a_{13} - \left(H + \frac{H_{pin}}{2} \right) = 90 \text{ mm}$...výška podstavce k patkám motoru

3. Vřeteno

3.1 Návrh převodu 2. stupně a finálního převodu

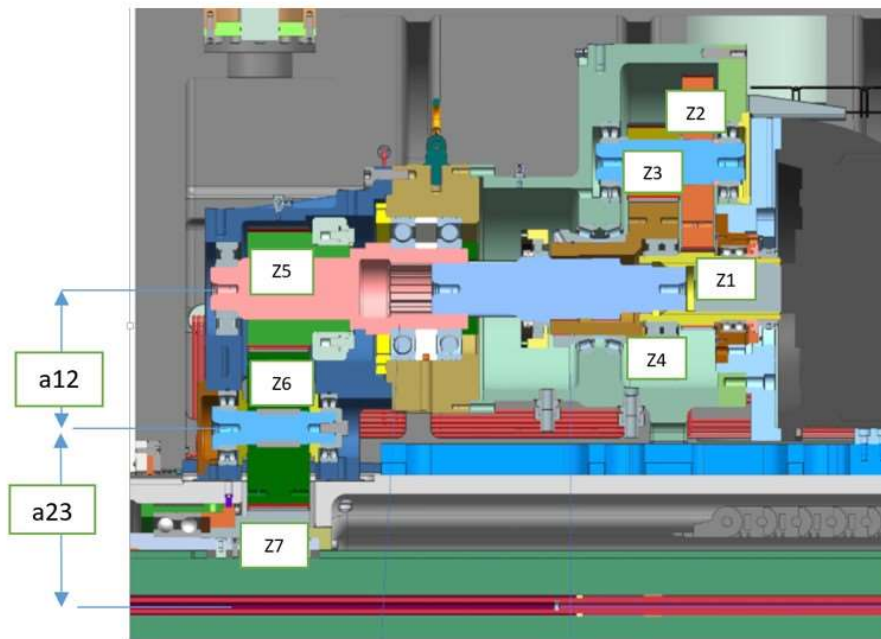
Stanovení fin. převodu - návrh čelních oz. kol s vloženým mezikolem

$\eta := 0.98$...účinnost zaberu

$\eta_{rs} := \eta^2$...účinnost fin. přev.

$i_{1s,2} := \frac{n_{max}}{n_{M2p}} = 1.8$...převod 2. st. - požadavek

$i_{rs} := i_{1s,2} = 1.8$...fin. převod



$m_n := 5 \cdot mm$ $\beta := 10 \cdot deg$ $D7amax := 375 \cdot mm$...max. hlav. průměr fin. kola

$z_7 := \left(D7amax - 2 \cdot m_n \right) \cdot \frac{\cos(\beta)}{m_n} = 71.891$

$z_7 := 72$... věnec fin. převodu

$D_7 := \frac{m_n \cdot z_7}{\cos(\beta)} = 365.554 \text{ mm}$

$$z_5 := \frac{z_7}{i_{rs}} = 40 \qquad z_5 := 40$$

$$D_5 := \frac{m_n \cdot z_5}{\cos(\beta)} = 203.085 \text{ mm} \qquad \dots \text{průměr pastorku fin. převodu}$$

$$i_{rs} := \frac{z_7}{z_5} = 1.8 \qquad \dots \text{fin. převod} \qquad a_{13} = 555 \text{ mm}$$

$$z_6 := \frac{a_{13} \cdot \cos(\beta)}{m_n} - \frac{z_5 + z_7}{2} = 53.314 \qquad z_6 := 51$$

$$D_6 := \frac{m_n \cdot z_6}{\cos(\beta)} = 258.934 \text{ mm} \qquad \dots \text{průměr mezikola}$$

$$a_{12.0} := \frac{z_5 + z_6}{2 \cdot \cos(\beta)} \cdot m_n = 231.01 \text{ mm} \qquad a_{23.0} := \frac{z_6 + z_7}{2 \cdot \cos(\beta)} \cdot m_n = 312.244 \text{ mm}$$

$$a_{13.0} := a_{12.0} + a_{23.0} = 543.253 \text{ mm} \qquad \Delta a := a_{13} - a_{13.0} = 11.747 \text{ mm}$$

$$a_{12} := 228.5 \text{ mm}$$

KISSsys/KISSsoft: hcw2n_y.ks

$$a_{13} = 555 \text{ mm} \qquad a_{12} = 228.5 \text{ mm} \qquad a_{23} := a_{13} - a_{12} = 326.5 \text{ mm}$$

$$\text{Výstup:} \qquad z_5 = 40 \qquad z_6 = 51 \qquad z_7 = 72$$

$$i_{rs} := \frac{z_7}{z_5} = 1.8$$

$$i_{1s2} := i_{rs} \qquad \dots \text{převod 2.st.}$$

$$n_{M2} := \frac{n_{max}}{i_{1s2}} = 2500 \frac{1}{\text{min}} \qquad \dots \text{max. ot. 2. st.} \qquad \delta := 1 - \frac{n_{M2}}{n_{M2p}} = 0$$

3.2 Návrh převodu 1. stupně

$$n_{e1} := \frac{P \cdot \eta_{1s}}{2 \cdot \pi \cdot M_L} = 101.292 \frac{1}{\text{min}} \qquad \dots \text{jmen. otáčky 1. st.}$$

$$i_{1s.1} := \frac{n_e}{n_{e1}} = 9.872 \qquad \text{převod 1. st.}$$

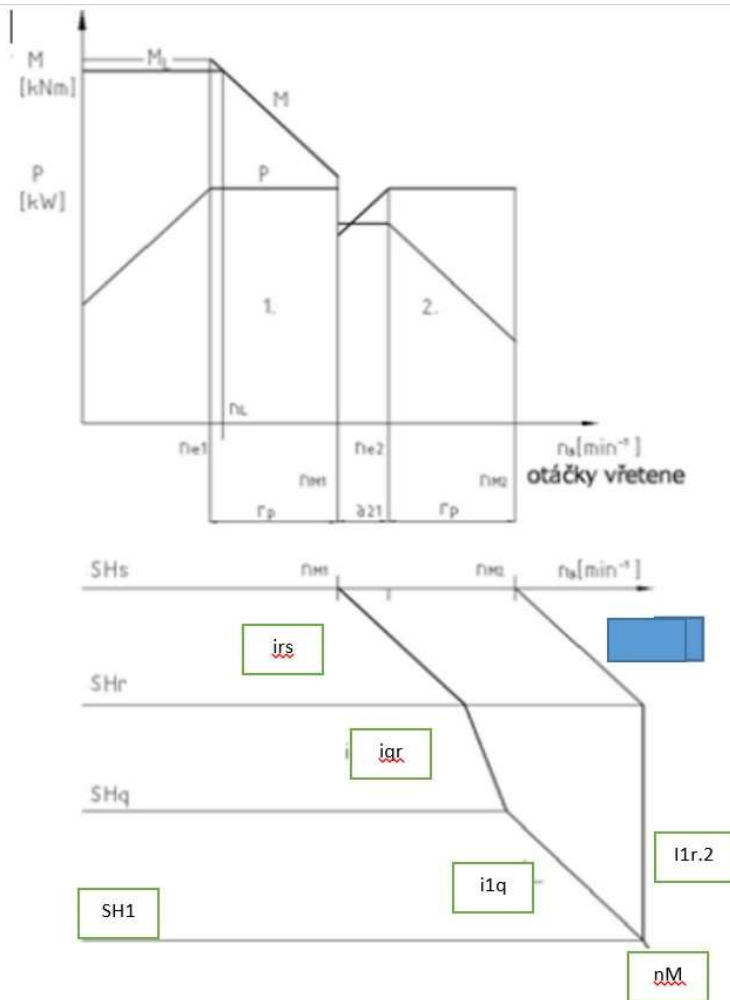
$$i_{1r.1} := \frac{i_{1s.1}}{i_{rs}} = 5.485 \qquad \dots \text{požadovaný převod předlohy}$$

$$i_{1q} := \sqrt{i_{1r.1}} = 2.342$$

..úvodní návrh převodu 1. páru kol předlohy

$$i_{qr} := i_{1q} = 2.342$$

..úvodní návrh 2. páru převodu kol předlohy



Převody dle KISSsys/KISSsoft: hcw2n_a.ks

$$i_{1q} := \frac{106}{44} = 2.409$$

$$i_{qr} := \frac{64}{28} = 2.286$$

4. Shrnutí - charakteristické parametry na vřetenu stroje

$$i_{1s1} := i_{1q} \cdot i_{qr} \cdot i_{rs} = 9.912$$

... převod 1. st.

$$i_{1s2} = 1.8$$

... převod 2. st.

Otáčky:

Max.

Min.

$$n_{M1} := \frac{n_{max}}{i_{1s1}} = 454.009 \frac{1}{min}$$

$$n_{e1} := \frac{n_e}{i_{1s1}} = 100.891 \frac{1}{min} \quad \dots 1. \text{ st.}$$

$$n_{M2} := \frac{n_{max}}{i_{1s2}} = (2.5 \cdot 10^3) \frac{1}{min} \quad n_{e2} := \frac{n_e}{i_{1s2}} = 555.556 \frac{1}{min} \quad \dots 2. \text{ st.}$$

$$a := \left(\frac{n_{e2}}{n_{M1}} \right) = 1.224 \quad \dots \text{mezistupnový pokles výkonu}$$

$$\eta_{rs} := \eta^2$$

Účinnost:

1. st.

2. st.

$$\eta_{1s1} := \eta^2 \cdot \eta_{rs} = 0.922 \quad \eta_{1s2} := \eta_{rs} = 0.96$$

Moment:

1. st.

$$M_{M1} := \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n_{M1}} \cdot \eta_{1s1} = (2.231 \cdot 10^3) \text{ N} \cdot \text{m} \quad M_{e1} := \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n_{e1}} \cdot \eta_{1s1} = 10040 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$n_L := \frac{P \cdot \eta_{1s1}}{2 \cdot \pi \cdot M_L} = 101.292 \frac{1}{min} \quad M_L = (1 \cdot 10^4) \text{ N} \cdot \text{m} \quad \dots \text{omezný moment}$$

2. st.

$$M_{M2} := \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n_{M2}} \cdot \eta_{1s2} = 421.873 \text{ N} \cdot \text{m} \quad M_{e2} := \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n_{e2}} \cdot \eta_{1s2} = 1898.427 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Rozsahy otáček vřetene

$$n_{e1} = 100.891 \frac{1}{min} \quad n_L = 101.292 \frac{1}{min} \quad n_{M1} = 454.009 \frac{1}{min} \quad \dots 1. \text{ st.}$$

$$n_{e2} = 555.556 \frac{1}{min} \quad n_{M2} = (2.5 \cdot 10^3) \frac{1}{min} \quad \dots 2. \text{ st.}$$

$$n_{cr} := [n_L \ n_{M1} \ n_{e2} \ n_{M2}]$$

...charakteristické otáčky vřetene

5. Přiřazení nástrojů k rozsahům otáček:

1. stupeň:

- Kontrola pevnosti a tuhosti mechanismu:
 - frézování s využitím výkonu v obou směrech pohybu: $nL \leq n < n_{M1}$
 - vyvrtávání s využitím omezného momentu M_L : $n \leq nL$
- Kontrola tepelně přípustných otáček: $n = n_{M1}$

2. stupeň:

- Kontrola pevnosti a tuhosti mechanismu:
 - 2 stavy frézování s využitím výkonu v jednom směru pohybu: $n_{e2} \leq n < n_{M2}$
- Kontrola tepelně přípustných otáček: $n = n_{M2}$

ORIGIN := 1

5.1 Frézování - stanovení průměru frézy pro využití instalovaného výkonu v jednotlivých stupních

Materiál obrobku: 12050 - AISI 1045: 190 HB

$$v_{min} := 100 \cdot \frac{m}{min} \quad v_M := 230 \cdot \frac{m}{min} \quad \dots \text{meze řezné rychlosti - čelní frézování}$$

$$D_{min} := \frac{v_{min}}{\pi \cdot n_{cr}} = [0.314 \ 0.07 \ 0.057 \ 0.013] \ m \quad \dots \text{min průměr nástroje pro dosažení } v_{min}$$

$$D_M := \frac{v_M}{\pi \cdot n_{cr}} = [0.723 \ 0.161 \ 0.132 \ 0.029] \ m \quad \dots \text{min průměr nástroje pro dosažení } v_M$$

$$D_F := [250 \ 160 \ 160 \ 60 \ 60 \ 20] \cdot mm \quad \dots \text{přiřazení fréz k otáčkám} \quad D_F := D_F^T$$

5.2 Rozsahy otáček a momentů v jednotlivých rychlostních stupních pro vybrané technologické operace

1. stupeň

$$P_1 := P \cdot \eta_{1s1} = 106.072 \ kW$$

$$n_1 := [n_L \ n_{M1}] = [101.292 \ 454.009] \ \frac{1}{min} \quad \dots \text{1. st.}$$

$$M_1 := [M_L \ M_{M1}] = [1 \cdot 10^4 \ 2.231 \cdot 10^3] \ N \cdot m$$

Frézování

$$D_{N1} := 250 \cdot \text{mm} \quad \dots \text{průměr nástroje}$$

$$n_{N1} := 178 \cdot \frac{1}{\text{min}} \quad P_{N1} := P_1 = 106.072 \text{ kW} \quad M_{N1} := \frac{P_{N1}}{2 \cdot \pi \cdot n_{N1}} = (5.691 \cdot 10^3) \text{ J}$$

$$D_{N2} := 160 \cdot \text{mm}$$

$$n_{N2} := n_{M1} = 454.009 \cdot \frac{1}{\text{min}} \quad P_{N2} := 60 \cdot \text{kW} \quad M_{N2} := \frac{P_{N2}}{2 \cdot \pi \cdot n_{N2}} = (1.262 \cdot 10^3) \text{ J}$$

Vyvtávání IWD 700

$$M_{N3} := 10000 \cdot \text{N} \cdot \text{m} \quad n_L = 101.292 \cdot \frac{1}{\text{min}}$$

$$F := 20 \cdot \text{kN} \quad \dots \text{max. obvod. síla}$$

$$D_{N3} := \frac{2 \cdot M_{N3}}{F} = 1 \text{ m} \quad \dots \text{průměr vyvtávání}$$

$$v_c := 100 \cdot \frac{\text{m}}{\text{min}} \quad f_t := 0.9 \cdot \text{mm} \quad a_p := 12 \cdot \text{mm} \quad \dots \text{dle nástroje, materiálu obrobku}$$

$$n_{N3} := \frac{v_c}{\pi \cdot D_{N3}} = 31.831 \cdot \frac{1}{\text{min}} \quad P_{N3} := M_{N3} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_{N3} = 33.333 \text{ kW}$$

$$n_{1st} := [n_{N3} \ n_{N1} \ -n_{N1} \ n_{N2}] = [31.831 \ 178 \ -178 \ 454.009] \cdot \frac{1}{\text{min}} \quad \dots \text{provozní parametry 1. st.}$$

$$D_{N1st} := [D_{N3} \ D_{N1} \ D_{N1} \ D_{N2}] = [1 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.16] \text{ m} \quad \dots \text{nástroje 1. st.}$$

$$M_{1st} := [M_{N3} \ M_{N1} \ -M_{N1} \ M_{N2}] = [10 \ 5.691 \ -5.691 \ 1.262] \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$P_{1st} := [P_{N3} \ P_{N1} \ P_{N1} \ P_{N2}] = [33.333 \ 106.072 \ 106.072 \ 60] \text{ kW}$$

2. stupeň

$$P_2 := P \cdot \eta_{1s2} = 110.446 \text{ kW}$$

$$n_2 := [n_{e2} \ n_{M2}] = [555.556 \ 2.5 \cdot 10^3] \cdot \frac{1}{\text{min}} \quad \dots \text{2. st.}$$

Frézování

$$D_{N4} := D_{N2} = 0.16 \text{ m}$$

$$n_{N4} := n_{e2} = 555.556 \cdot \frac{1}{\text{min}} \quad P_{N4} := P_{N2} = 60 \text{ kW} \quad M_{N4} := \frac{P_{N2}}{2 \cdot \pi \cdot n_{N4}} = (1.031 \cdot 10^3) \text{ J}$$

$$D_{N5} := 63 \cdot \text{mm}$$

$$n_{N5} := 656 \cdot \frac{1}{\text{min}} \quad P_{N5} := 35 \cdot \text{kW} \quad M_{N5} := \frac{P_{N5}}{2 \cdot \pi \cdot n_{N5}} = 509.49 \text{ J}$$

$$D_{N6} := 20 \cdot \text{mm}$$

$$n_{N6} := 2500 \cdot \frac{1}{\text{min}}$$

$$P_{N6} := 21 \cdot \text{kW}$$

$$M_{N6} := 81 \cdot \text{N} \cdot \text{m}$$

$$n_{2st} := [n_{N4} \ n_{N5} \ n_{N6}] = [555.556 \ 656 \ 2.5 \cdot 10^3] \frac{1}{\text{min}}$$

...provozní
parametry 2. st.

$$D_{N2st} := [D_{N4} \ D_{N5} \ D_{N6}] = [0.16 \ 0.063 \ 0.02] \text{ m}$$

...nástroje 2. st.

$$M_{2st} := [M_{N4} \ M_{N5} \ M_{N6}] = [1.031 \cdot 10^3 \ 509.49 \ 81] \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$P_{2st} := [P_{N4} \ P_{N5} \ P_{N6}] = [60 \ 35 \ 21] \text{ kW}$$

6. Spektrum zatížení

6.1 Referenční zatížení na motoru

$$n_e = (1 \cdot 10^3) \frac{1}{\text{min}}$$

$$M_e = (1.098 \cdot 10^3) \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$T_c := 14000 \cdot \text{hr}$$

6.2 Spektrum zatížení na vřetenu

Provozní hodnoty stupně

Charakteristické hodnoty stupně

1. st.:

$$n_{1st} = [31.8 \ 178 \ -178 \ 454] \frac{1}{\text{min}}$$

$$n_1 = [101.292 \ 454.009] \frac{1}{\text{min}}$$

$$M_{1st} = [1 \cdot 10^4 \ 5.691 \cdot 10^3 \ -5.691 \cdot 10^3 \ 1.262 \cdot 10^3] \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$P_{1st} = [33.333 \ 106.072 \ 106.072 \ 60] \text{ kW}$$

$$P_1 = 106.072 \text{ kW}$$

2. st.:

$$n_{2st} = [555.6 \ 656 \ 2.5 \cdot 10^3] \frac{1}{\text{min}}$$

$$n_2 = [555.556 \ 2.5 \cdot 10^3] \frac{1}{\text{min}}$$

$$M_{2st} = [1.031 \cdot 10^3 \ 509.49 \ 81] \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$P_{2st} = [60 \ 35 \ 21] \text{ kW}$$

$$P_2 = 110.446 \text{ kW}$$

6.3 Poměrné hodnoty doby běhu

$$T_{1st} := 0.5 \cdot T_c = (7 \cdot 10^3) \text{ hr} \quad \dots 1.\text{st}$$

$$T_{2st} := T_{1st} = (7 \cdot 10^3) \text{ hr} \quad \dots 2.\text{st}$$

$$q_{1st} := [0.05 \ 0.15 \ 0.15 \ 0.15] \quad q_{2st} := [0.2 \ 0.2 \ 0.1] \quad \dots \text{poměrná doba běhu}$$

$$\sum_{i=1}^4 (q_{1st}^T)_i = 0.5 \quad \sum_{i=1}^3 (q_{2st}^T)_i = 0.5$$

$$q := [q_{1st} \ q_{2st}] = [[0.05 \ 0.15 \ 0.15 \ 0.15] \ [0.2 \ 0.2 \ 0.1]]$$

$$T_{12st} := T_c \cdot q = [[700 \ 2.1 \cdot 10^3 \ 2.1 \cdot 10^3 \ 2.1 \cdot 10^3] \ [2.8 \cdot 10^3 \ 2.8 \cdot 10^3 \ 1.4 \cdot 10^3]] \text{ hr}$$

6.4 Poměrné hodnoty otáček, momentu, výkonu

$$q_{n1st} := \frac{n_{1st}}{n_e} \cdot i_{1s1} = [0.315 \ 1.764 \ -1.764 \ 4.5] \quad \dots \text{otáčky} \quad n_e = (1 \cdot 10^3) \frac{1}{\text{min}}$$

$$q_{M1st} := \frac{M_{1st}}{M_e \cdot i_{1s1} \cdot \eta_{1s1}} = [0.996 \ 0.567 \ -0.567 \ 0.126] \quad \dots \text{moment}$$

$$q_{P1st} := \frac{P_{1st}}{P \cdot \eta_{1s1}} = [0.314 \ 1 \ 1 \ 0.566] \quad \dots \text{výkon}$$

$$q_{n2st} := \frac{n_{2st}}{n_e} \cdot i_{1s2} = [1 \ 1.181 \ 4.5] \quad \dots \text{otáčky} \quad -1.8$$

$$q_{M2st} := \frac{M_{2st}}{M_e \cdot i_{1s2} \cdot \eta_{1s2}} = [0.543 \ 0.268 \ 0.043] \quad \dots \text{moment}$$

$$q_{P2st} := \frac{P_{2st}}{P \cdot \eta_{1s2}} = [0.543 \ 0.317 \ 0.19] \quad \dots \text{výkon}$$

6.5 Shrnutí

Poměrné otáčky:

$$q_{n12st} := [q_{n1st} \ q_{n2st}] = [[0.315 \ 1.764 \ -1.764 \ 4.5] \ [1 \ 1.181 \ 4.5]]$$

Poměrný moment:

$$q_{nM12st} := [q_{M1st} \ q_{M2st}] = [[0.996 \ 0.567 \ -0.567 \ 0.126] \ [0.543 \ 0.268 \ 0.043]]$$

Poměrná doba běhu:

$$q = [[0.05 \ 0.15 \ 0.15 \ 0.15] \ [0.2 \ 0.2 \ 0.1]]$$

Referenční zatížení od motoru:

$$n_e = (1 \cdot 10^3) \frac{1}{\text{min}} \quad M_e = 1098.169 \text{ N}\cdot\text{m} \quad P = 115 \text{ kW}$$

Doba běhu:

$$T_c = (1.4 \cdot 10^4) \text{ hr}$$

Průměry nástrojů a příslušné otáčky:

$$D_N := [D_{N1st} \ D_{N2st}] = [[1 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.16] \text{ m} \ [0.16 \ 0.063 \ 0.02] \text{ m}] \text{ m}$$

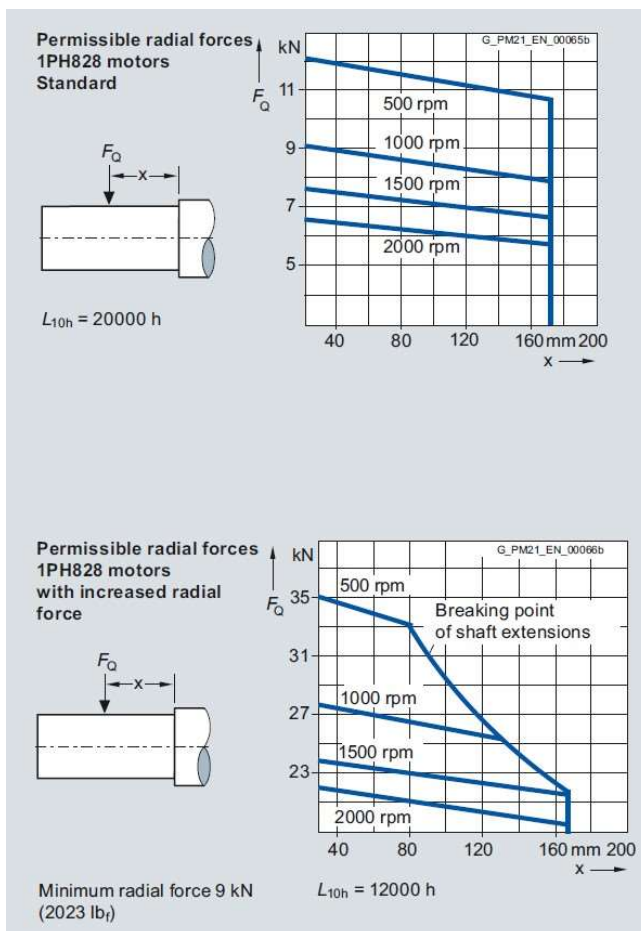
$$n_{1,2st} := [n_{1st} \ n_{2st}] = [[31.831 \ 178 \ -178 \ 454.009] \ [555.556 \ 656 \ 2.5 \cdot 10^3]] \frac{1}{\text{min}}$$

7. Přesouvadlo

$$p := 16 \cdot \text{MPa}$$

$$F_p := 1000 \cdot N$$

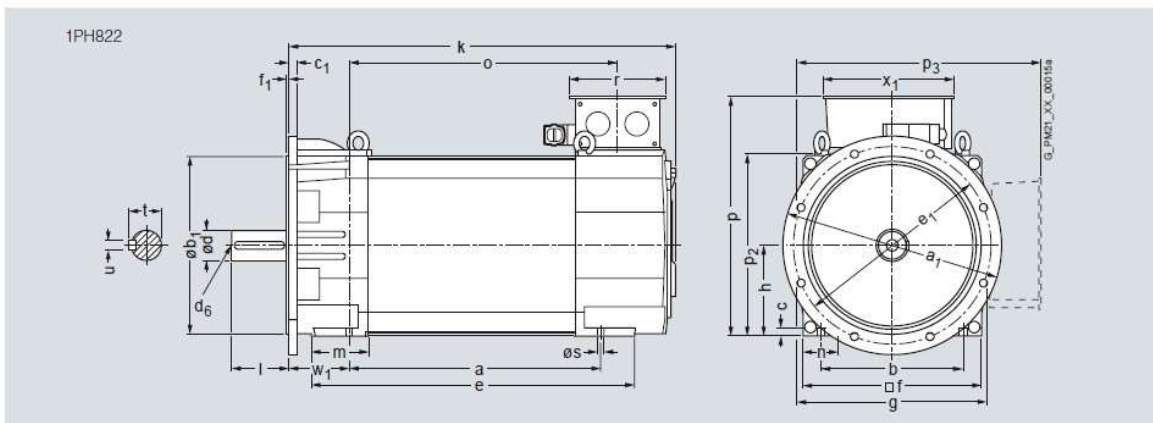
$$D_p := \sqrt{\frac{4 \cdot F_p}{\pi \cdot p}} = 8.921 \text{ mm}$$

8. Tabulky

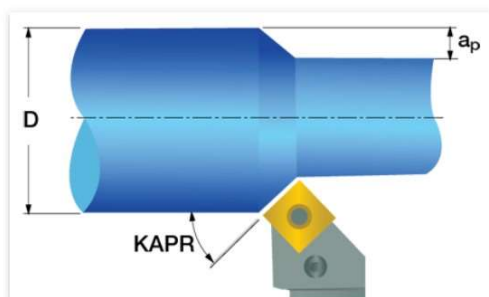
Maßzeichnungen

Für Motor		Maße in mm (inches)																	
Achs- höhe	Typ	DIN IEC	a B	a ₁ P	b A	b ₁ N	c HA	c ₁ LA	e ₁ M	f AB	f ₁ T	g AC	h H	k LB	m BA	n AA	p ₂ -	w ₁ C	
1PH8, Bauformen IM B5/IM B35/IM V15 D550, Wasserkühlung																			
225	1PH8224		445 (17,52)	550 (21,65)	356 (14,02)	450 (17,72)	18 (0,71)	20 (0,79)	500 (19,69)	446 (17,56)	5 (0,20)	474 (18,66)	225 (8,86)	770 (30,31)	144 (5,67)	88 (3,46)	462 (18,19)	149 (5,87)	
	1PH8226		545 (21,46)											872 (34,33)					
	1PH8228		635 (25,00)											962 (37,87)					

		Wellenende DE					Klemmenkasten Typ	
Achs- höhe	Typ	DIN IEC	d D	d ₆ -	l E	t GA	u F	Maße wie Bauformen IM B3/IM V5
225	1PH8224		75m6	M20	140 (5,51)	79,5 (3,13)	20 (0,79)	
	1PH8226							
	1PH8228							



Soustružení DN3=1000 mm



Workpiece diameter (D):	<input type="text" value="1000"/>	mm
Depth of cut (a _p):	<input type="text" value="15"/>	mm
Feed per revolution (f _r):	<input type="text" value="0.9"/>	mm
<input checked="" type="radio"/> Cutting speed (v _c): <input type="radio"/> Spindle speed (n):	<input type="text" value="100"/>	m/min
	<input type="text" value="31.8"/>	rpm
Workpiece material:	<input type="text" value="AISI 1045"/>	AISI
Effective rake angle (γ):	<input type="text" value="0"/>	deg.
Tool cutting edge angle (KAPR):	<input type="text" value="75"/>	deg.
<input type="button" value="Reset"/>	<input type="button" value="Calculate"/>	

Kc:	1 573	N/mm ²
Net mean power demand:	34,86	KW
Material removal rate:	1 329,75	cm ³ /min
Mean torque:	10 466,75	Nm
Tangential force:	21 231,6	N

Cutting Speed for: SNMM 190616-R3P IC830 - 3328885

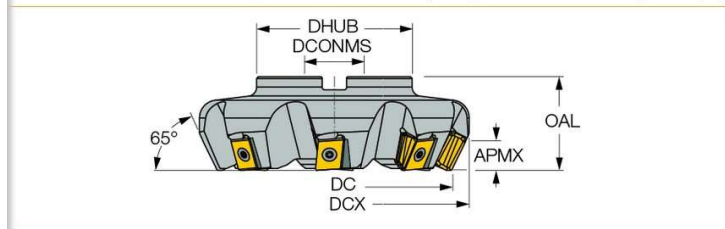
ISO	Material	Material Designation	Material Condition	Hardness	Cutting Speed Recommendations (Vc)
P	1	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel <0.25% C	Annealed	125 HB	120-200 m/min
P	2	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel >=0.25% C	Annealed	190 HB	100-170 m/min

Designation	H	HF	B	LF	LH	WF	GAMP	GAMF	HAND
PSBNL 2020K-09	20.0	20.0	20.0	125.00	20.0	17.00	-6.0	-6.0	L
PSBNR 2020K-09	20.0	20.0	20.0	125.00	20.0	17.00	-6.0	-6.0	R
PSBNL 2525M-09	25.0	25.0	25.0	150.00	20.0	22.00	-6.0	-6.0	L
PSBNR 2525M-09	25.0	25.0	25.0	150.00	20.0	22.00	-6.0	-6.0	R
PSBNR 2525M-12	25.0	25.0	25.0	150.00	26.8	22.00	-6.0	-6.0	R
PSBNL 3232P-19	32.0	32.0	32.0	170.00	39.0	27.00	-6.0	-6.0	L
PSBNR 3232P-19	32.0	32.0	32.0	170.00	39.0	27.00	-6.0	-6.0	R

Designation	IC	S	RE	ft (min)	ft (max)	ap (min)	ap (max)	Tough Grade & Vc	Hard
SNMM 120408-R3P	12.70	4.76	0.80	0.20	0.55	0.70	7.50	IC830 IC8250 IC8150	
SNMM 120412-R3P	NEW!	12.70	4.76	1.20	0.25	0.70	1.00	IC830 IC8250 IC8150	
SNMM 120416-R3P	NEW!	12.70	4.76	1.60	0.30	0.90	2.00	IC830 IC8250	
SNMM 150612-R3P	15.88	6.35	1.20	0.30	0.70	2.00	9.50	IC830 IC8250 IC8150	
SNMM 150616-R3P	15.88	6.35	1.60	0.30	0.90	2.50	9.50	IC830 IC8250 IC8150	
SNMM 190612-R3P	19.05	6.35	1.20	0.25	0.80	3.00	12.00	IC830 IC8250 IC8150	
SNMM 190616-R3P	19.05	6.35	1.60	0.30	0.90	3.50	12.00	IC830 IC8250 IC8150	
SNMM 190624-R3P	19.05	6.35	2.40	0.30	1.20	3.50	12.00	IC830 IC8250 IC8150	
SNMM 250924-R3P	NEW!	25.40	9.52	2.40	0.40	1.20	4.00	15.00	IC830 IC8250 IC8150

Frézování -DN2=250 mm

Family Designation: T465 FLN-22ST HELITANG T465 Line, 65° face mills carrying tangentially clamped inserts with 4, 22 mm long cutting edges. Used for machining large parts such as those found in marine industries, power generation and other heavy industry applications.



Right-hand shown

Item Designation: T465 FLN D250-12-60R-22ST

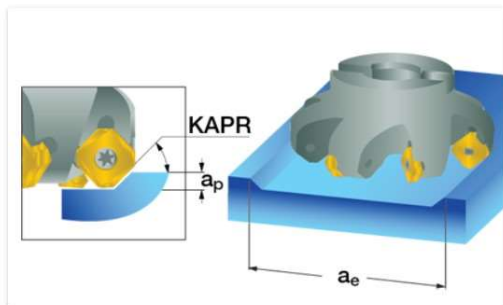
DC	DCX	APMX	CICT	OAL	DHUB	DCONMS	Arbor	kg	MIID
250.00	270.00	19.00	12	63.00	150.00	60.00	C	15.03	T465 LNHT 2212-ZNTR

Designation	W1	L	S	APMX	BS	fz (min)	fz (max)	Tough Grade & Vc	Hard
T465 LNHT 2212-ZN-R	12.00	25.39	19.80	19.00	2.50	0.12	0.35	IC330	
T465 LNHT 2212-ZNTL	12.00	25.39	19.80	19.00	2.50	0.25	0.45	IC830	
T465 LNHT 2212-ZNTR	12.00	25.39	19.80	19.00	2.50	0.25	0.45	IC830 IC5400 IC810 DT7150 IC5100	
T465 LNMT 2212-ZNTR	12.00	25.39	19.80	19.00	2.50	0.25	0.45	IC830 IC810	
T465 LNMT 2212ZNTR-CS	12.00	25.39	19.80	19.00	2.50	0.25	0.35	IC830 IC5400	

LNMT - utility inserts LNHT-precision inserts

Cutting Speed for: T465 LNMT 2212-ZNTR IC830 - 5668278

ISO	Material	Material Designation	Material Condition	Hardness	Cutting Speed Recommendations (Vc)
P	1	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel <0.25% C	Annealed	125 HB	150-240 m/min
P	2	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel >=0.25% C	Annealed	190 HB	140-230 m/min
P	3	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel <0.55% C	Quenched and tempered	250 HB	140-230 m/min
P	4	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel >=0.55% C	Annealed	220 HB	130-220 m/min
P	5	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel >=0.55% C	Quenched and tempered.	300 HB	130-200 m/min
P	6	Low alloy and cast steel (less than 5% of alloying elements)	Annealed	200 HB	120-190 m/min
P	7	Low alloy and cast steel (less than 5% of alloying elements)	Quenched and tempered	275 HB	120-170 m/min
P	8	Low alloy and cast steel (less than 5% of alloying elements)	Quenched and tempered	300 HB	110-170 m/min
P	9	Low alloy and cast steel (less than 5% of alloying elements)	Quenched and tempered	350 HB	100-160 m/min
P	10	High alloyed steel, cast steel and tool steel	Annealed	200 HB	90-150 m/min
P	11	High alloyed steel, cast steel and tool steel	Quenched and tempered	325 HB	90-140 m/min
P	12	Stainless steel and cast steel	Ferritic/martensitic	200 HB	110-160 m/min
P	13	Stainless steel and cast steel	Martensitic	240 HB	100-150 m/min
M	14	Stainless steel and cast steel	Austenitic	180 HB	100-150 m/min
S	31	High temp. alloys Fe based	Annealed	200 HB	35-55 m/min
S	32	High temp. alloys Fe based	Hardened	280 HB	30-45 m/min
S	33	High temp. alloys Ni or Co based	Annealed	250 HB	30-45 m/min
S	34	High temp. alloys Ni or Co based	Cured	350 HB	25-35 m/min
S	35	High temp. alloys Ni or Co based	Cast	320 HB	30-35 m/min
S	36	Titanium (pure)	Pure	110 HB	50-90 m/min
S	37	Titanium alloys	Alpha+beta alloys	310 HB	30-65 m/min



Cutting diameter (DC): mm

Cutting width (a_e): mm

Face effective cutting edge count (ZEFP):

Feed per tooth (f_2): mm

Depth of cut (a_p): mm

Cutting speed (v_c): m/min

Spindle speed (n): rpm

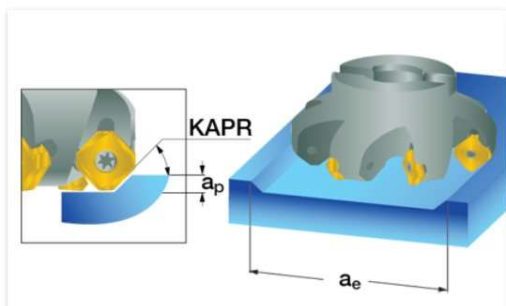
Workpiece material: AISI

Tool cutting edge angle (KAPR): deg.

Effective rake angle (γ): deg.

Kc:	2 052	N/mm ²
Net mean power demand:	106,97	KW
Material removal rate:	3 053,29	cm ³ /min
Max spindle bending force:	39 531,4	N
Average chip thickness:	0,2596	mm
Mean torque:	5 729,19	Nm
Max. torque:	5 796,67	Nm

Frézování -DN2=160 mm



Cutting diameter (DC):	<input type="text" value="160"/>	mm
Cutting width (a_e):	<input type="text" value="160"/>	mm
Face effective cutting edge count (ZEFP):	<input type="text" value="12"/>	
Feed per tooth (f_z):	<input type="text" value="0.17"/>	mm
Depth of cut (a_p):	<input type="text" value="10"/>	mm
<input type="radio"/> Cutting speed (v_c):	<input type="text" value="224.7"/>	m/min
<input checked="" type="radio"/> Spindle speed (n):	<input type="text" value="447"/>	rpm
Workpiece material: <input type="text" value="..."/>	<input type="text" value="AISI 1045"/>	AISI
Tool cutting edge angle (KAPR):	<input type="text" value="90"/>	deg.
Effective rake angle (γ): <input style="background-color: #e0e0e0;" type="text" value="?"/>	<input type="text" value="0"/>	deg.

Reset

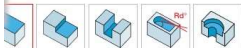
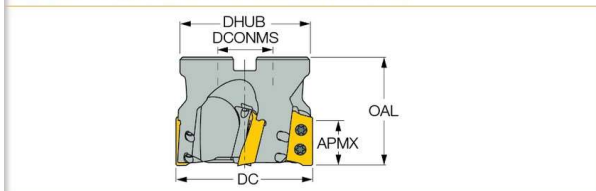
Calculate

Kc:	2 487	N/mm ²
Net mean power demand:	60,49	KW
Material removal rate:	1 459,01	cm ³ /min
Max spindle bending force:	14 182,17	N
Average chip thickness:	0,1082	mm
Mean torque:	1 292,15	Nm
Max. torque:	1 306,95	Nm

Frézování -DN5=63 mm

$$a_p := 21 \cdot mm$$

F90AT-22 : 90° Face Mills Carrying HP AD... 2207... Long Edged Inserts (+)



Search results for : DC = '63.00' ; APMX = '21.00' Clear

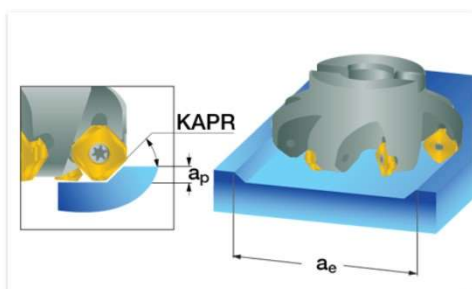
Non ISO ISO 13399

Designation	DC	CICT	APMX	OAL	DHUB	DCONMS	RMPX*	Arbor	CSP	kg	MIID
F90AT D63-4-25.4-22	63.00	4	21.00	50.00	59.20	25.40	3.1	A	1	0.57	HP ADCT 2207PDR
F90AT D63-5-25.4-22	63.00	5	21.00	50.00	59.20	25.40	3.1	A	0	0.74	HP ADCT 2207PDR

Designation	INSL	APMX	S	RE	BS	fz (min)	fz (max)	Tough <-----> Hard Grade & Vc Click on Grade No. for Cutting Speed
HP ADCT 2207PDR	25.73	22.60	7.50	1.00	3.43	0.07	0.15	IC328 IC928 IC908
HP ADKT 2207PDTR	25.73	22.60	7.50	0.80	3.43	0.10	0.20	IC328 IC928 IC950 IC908 IC910

Cutting Speed for: HP ADKT 2207PDTR IC328 - 5603001

ISO	Material	Material Designation	Material Condition	Hardness	Cutting Speed Recommendations (Vc)
P 1	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel <0.25% C		Annealed	125 HB	140-200 m/min
P 2	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel >=0.25% C		Annealed	190 HB	130-190 m/min



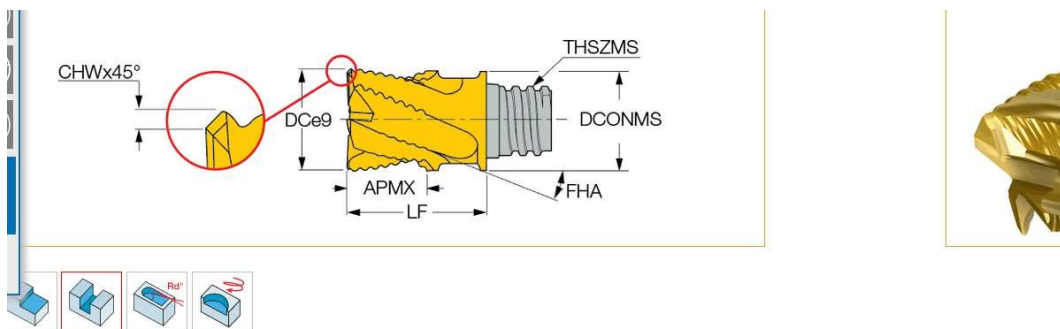
Cutting diameter (DC):	63	mm
Cutting width (a_e):	63	mm
Face effective cutting edge count (ZEFP):	5	
Feed per tooth (f_z):	0.2	mm
Depth of cut (a_p):	21	mm
<input checked="" type="radio"/> Cutting speed (v_c):	130	m/min
<input type="radio"/> Spindle speed (n):	656.8	rpm
Workpiece material:	AISI 1045	AISI
Tool cutting edge angle (KAPR):	90	deg.
Effective rake angle (γ):	0	deg.

Reset

Calculate

Kc:	2 400	N/mm ²
Net mean power demand:	34,76	KW
Material removal rate:	868,95	cm ³ /min
Max spindle bending force:	14 751,6	N
Average chip thickness:	0,1273	mm
Mean torque:	505,35	Nm

Frézování - DN6=20 mm



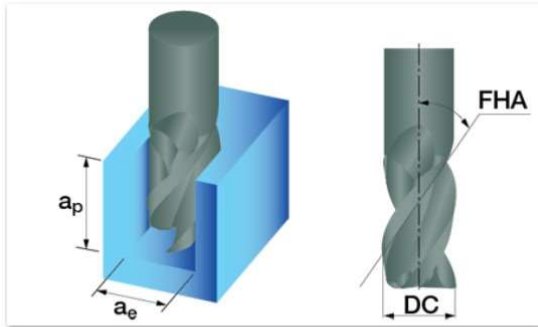
Search results for : DC = '20.00' ; APMX = '15.00' [Clear](#)

Non ISO ISO 13399

Designation	DC	NOF	APMX	THSZMS	DCONMS	LF	FHA	RMPX*	fz (min)	fz (max)	CHW	KCH	Grade
MM ERS200B15-6T12	20.00	6	15.00	T12	18.45	25.50	45.0	3.0	0.05	0.11	0.40	45.0	IC908

Cutting Speed for: MM ERS200B15-6T12 IC908 - 5622032

ISO	Material	Material Designation	Material Condition	Hardness	Cutting Speed Recommendations (Vc)
P 1	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel <0.25% C		Annealed	125 HB	260-280 m/min
P 2	Non-alloy steel and cast steel, free cutting steel >=0.25% C		Annealed	190 HB	200-230 m/min



Cutting diameter (DC): mm

Cutting width (a_e): mm

Number of flutes (NOF):

Feed per flute (f_f): mm

Depth of cut (a_p): mm

Flute helix angle (FHA): ... deg.

Cutting speed (v_c): m/min

Spindle speed (n): rpm

Workpiece material: ... AISI

Effective rake angle (γ): ? deg.

Reset

Calculate

Kc:	2 795	N/mm ²
Net mean power demand:	20,97	KW
Material removal rate:	450,0	cm ³ /min
Max spindle bending force:	7 031,59	N
Maximum axial force:	2 863,87	N
Mean torque:	80,08	Nm
Max. torque:	81,0	Nm

PŘÍLOHA č. 2

Protokol KISSsoft

Name : Unnamed
Changed by: kapras on: 01.04.2022 at: 13:06:52

hcw2n_y

Power inputs:

_O.Boundary1			
Speed	[1/min]		1000
Torque	[Nm]		1098
Power	[kW]		114.982

Power outputs:

_O.Boundary2			
Speed	[1/min]		-100.891
Torque	[Nm]		10038.164
Power	[kW]		106.056

Calculations:

_O.GroupBox.GearPair_z12.GearPair_z12_calc
_O.GroupBox.GearPair_z34.GearPair_z34_calc
_O.GroupBox.Shaft134p.Con.StraightSidedSpline_calc1
_O.GroupBox.Shaft134p.Shaft1.CIn.FeatherKey_calc1
_O.GroupBox.Shaft134p.Shaft1.c1.InvoluteSpline_calc1
_O.GroupBox.Shaft134p.Shaft134p_calc
_O.GroupBox.Shaft134p.Shaft3.c2.InvoluteSpline_calc2
_O.GroupBox.Shaft134p.Shaft3.z4.FeatherKey_calc5
_O.GroupBox.Shaft134p.presouv.c12.InvoluteSpline_calc3
_O.GroupBox.Shaft2.Shaft2_calc
_O.GroupBox.Shaft2.z2.FeatherKey_calc2
_O.GroupBox.Shaft6.Shaft6_calc
_O.GroupBox.ThreeGears_const1.ThreeHelicalGears_calc1
_O.GroupBox.vreteno.frez_vret.z7.FeatherKey_calc4
_O.GroupBox.vreteno.vreteno_calc

_O.GroupBox.GearPair_z12.GearPair_z12_calc

CALCULATION OF A HELICAL GEAR PAIR

Drawing or article number:

Gear 1: z1(GearPair_z12)

Gear 2: z2(GearPair_z12)

Calculation method DIN 3990:1987 Method B

		----- GEAR 1 -----	----- GEAR 2 --
Power (kW)	[P]		114.982
Speed (1/min)	[n]	1000.0	415.1
Torque (Nm)	[T]	1098.0	2645.2
Application factor	[KA]		1.25
Required service life (h)	[H]		14000.00
Gear driving (+) / driven (-)		+	-
Working flank gear 1: Right flank			
Sense of rotation gear 1 clockwise			

1. TOOTH GEOMETRY AND MATERIAL

(geometry calculation according to ISO 21771:2007, DIN ISO 21771)

		----- GEAR 1 -----	----- GEAR 2 --
Center distance (mm)	[a]		200.000
Center distance tolerance		ISO 286:2010 Measure js7	
Normal module (mm)	[mn]		2.5000
Pressure angle at normal section (°)	[alfn]		20.0000
Helix angle at reference circle (°)	[beta]		20.0000
Number of teeth	[z]	44	106
Facewidth (mm)	[b]	42.00	40.00
Hand of gear			right
Accuracy grade	[Q-DIN 3961:1978]	6	6
Inner diameter (mm)	[di]	20.00	20.00
Inner diameter of gear rim (mm)	[dbi]	0.00	0.00

Material

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

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

		----- GEAR 1 -----	----- GEAR 2 --
Surface hardness			HRC 61
61			HRC
Fatigue strength. tooth root stress (N/mm ²)	[σFlim]	430.00	430.00
Fatigue strength for Hertzian pressure (N/mm ²)	[σHlim]	1500.00	1500.00
Tensile strength (N/mm ²)	[σB]	1200.00	1200.00
Yield point (N/mm ²)	[σS]	850.00	850.00
Young's modulus (N/mm ²)	[E]	206000	206000
Poisson's ratio	[ν]	0.300	0.300
Roughness average value DS, flank (μm)	[RAH]	0.60	0.60
Roughness average value DS, root (μm)	[RAF]	3.00	3.00
Mean roughness height, Rz, flank (μm)	[RZH]	4.80	4.80
Mean roughness height, Rz, root (μm)	[RZF]	20.00	20.00

Gear reference profile	1 :		
Reference profile	1.25 / 0.38 / 1.0 ISO 53:1998 Profil A		
Dedendum coefficient	[hfP*]	1.250	
Root radius factor	[rhofP*]	0.380 (rhofPmax*=0.472)	
Addendum coefficient	[haP*]	1.000	
Tip radius factor	[rhoaP*]	0.000	
Protuberance height coefficient	[hprP*]	0.000	
Protuberance angle	[alfprP]	0.000	
Tip form height coefficient	[hFaP*]	0.000	
Ramp angle	[alfKP]	0.000	
			not topping

Gear reference profile	2 :		
Reference profile	1.25 / 0.38 / 1.0 ISO 53:1998 Profil A		
Dedendum coefficient	[hfP*]	1.250	
Root radius factor	[rhofP*]	0.380 (rhofPmax*=0.472)	
Addendum coefficient	[haP*]	1.000	
Tip radius factor	[rhoaP*]	0.000	
Protuberance height coefficient	[hprP*]	0.000	
Protuberance angle	[alfprP]	0.000	
Tip form height coefficient	[hFaP*]	0.000	
Ramp angle	[alfKP]	0.000	
			not topping

Summary of reference profile gears:

Dedendum reference profile	[hfP*]	1.250	1.250
Tooth root radius Refer. profile	[rofP*]	0.380	0.380
Addendum Reference profile	[haP*]	1.000	1.000
Protuberance height coefficient	[hprP*]	0.000	0.000
Protuberance angle (°)	[alfprP]	0.000	0.000
Tip form height coefficient	[hFaP*]	0.000	0.000
Ramp angle (°)	[alfKP]	0.000	0.000

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

Lubrication type	Oil bath lubrication		
Type of oil	Oil: ISO-VG 220		
Lubricant base	Mineral-oil base		
Kinem. viscosity oil at 40 °C (mm ² /s)	[nu40]	220.00	
Kinem. viscosity oil at 100 °C (mm ² /s)	[nu100]	17.50	
Specific density at 15 °C (kg/dm ³)	[roOil]	0.895	
Oil temperature (°C)	[TS]	70.000	

		----- GEAR 1 -----	GEAR 2 --
Overall transmission ratio	[itot]		-2.409
Gear ratio	[u]		2.409
Transverse module (mm)	[mt]		2.660
Pressure angle at pitch circle (°)	[alf]		21.173
Working transverse pressure angle (°)	[alfwt]		21.515
	[alfwt.e/i]	21.532 /	21.499
Working pressure angle at normal section (°)	[alfwn]		20.322
Helix angle at operating pitch circle (°)	[betaw]		20.043
Base helix angle (°)	[betab]		18.747
Reference center distance (mm)	[ad]		199.533
Sum of profile shift coefficients	[Summexi]		0.1881
Profile shift coefficient	[x]	0.1774	0.0107

Tooth thickness (Arc) (module) (module)	[sn*]	1.6999	1.5786
Tip alteration (mm)	[k*mn]	-0.004	-0.004
Reference diameter (mm)	[d]	117.060	282.007
Base diameter (mm)	[db]	109.157	262.970
Tip diameter (mm)	[da]	122.939	287.053
(mm)	[da.e/i]	122.939 / 122.899	287.053 / 287.001
Tip diameter allowances (mm)	[Ada.e/i]	0.000 / -0.040	0.000 / -0.052
Tip form diameter (mm)	[dFa]	122.939	287.053
(mm)	[dFa.e/i]	122.939 / 122.899	287.053 / 287.001
Active tip diameter (mm)	[dNa]	122.939	287.053
Active tip diameter (mm)	[dNa.e/i]	122.939 / 122.899	287.053 / 287.001
Operating pitch diameter (mm)	[dw]	117.333	282.667
(mm)	[dw.e/i]	117.347 / 117.320	282.699 / 282.634
Root diameter (mm)	[df]	111.697	275.811
Generating Profile shift coefficient	[xE.e/i]	0.1389/ 0.1170	-0.0607/ -0.0937
Generated root diameter with xE (mm)	[df.e/i]	111.504 / 111.394	275.453 / 275.289
Theoretical tip clearance (mm)	[c]	0.625	0.625
Effective tip clearance (mm)	[c.e/i]	0.929 / 0.781	0.826 / 0.699
Active root diameter (mm)	[dNf]	113.642	277.992
(mm)	[dNf.e/i]	113.713 / 113.607	278.061 / 277.951
Root form diameter (mm)	[dFf]	113.445	277.355
(mm)	[dFf.e/i]	113.301 / 113.220	277.042 / 276.899
Reserve (dNf-dFf)/2 (mm)	[cF.e/i]	0.247 / 0.153	0.581 / 0.454
Addendum (mm)	[ha=mn*(haP*+x+k)]	2.940	2.523
(mm)	[ha.e/i]	2.940 / 2.919	2.523 / 2.497
Dedendum (mm)	[hf=mn*(hfP*-x)]	2.681	3.098
(mm)	[hf.e/i]	2.778 / 2.833	3.277 / 3.359
Roll angle at dFa (°)	[xsi_dFa.e/i]	29.686 / 29.640	25.076 / 25.048
Roll angle to dNa (°)	[xsi_dNa.e/i]	29.686 / 29.640	25.076 / 25.048
Roll angle to dNf (°)	[xsi_dNf.e/i]	16.725 / 16.526	19.687 / 19.613
Roll angle at dFf (°)	[xsi_dFf.e/i]	15.936 / 15.776	18.993 / 18.894
Tooth height (mm)	[h]	5.621	5.621
Virtual gear no. of teeth	[zn]	52.218	125.797
Normal tooth thickness at tip circle (mm)	[san]	1.877	2.038
(mm)	[san.e/i]	1.823 / 1.763	1.927 / 1.845
Normal tooth thickness on tip form circle (mm)	[sFan]	1.877	2.038
(mm)	[sFan.e/i]	1.823 / 1.763	1.927 / 1.845
Normal space width at root circle (mm)	[efn]	1.929	1.795
(mm)	[efn.e/i]	1.954 / 1.970	1.815 / 1.824
Max. sliding velocity at tip (m/s)	[vga]	1.002	0.846
Specific sliding at the tip	[zetaa]	0.338	0.338
Specific sliding at the root	[zetaf]	-0.511	-0.511
Mean specific sliding	[zetam]		0.338
Sliding factor on tip	[Kga]	0.163	0.138
Sliding factor on root	[Kgf]	-0.138	-0.163
Pitch on reference circle (mm)	[pt]		8.358
Base pitch (mm)	[pbt]		7.794
Transverse pitch on contact-path (mm)	[pet]		7.794
Lead height (mm)	[pz]	1010.394	2434.132
Axial pitch (mm)	[px]		22.964
Length of path of contact (mm)	[ga, e/i]	12.473 (	12.536 / 12.302)
Length T1-A, T2-A (mm)	[T1A, T2A]	15.805(	15.742/ 15.932) 57.545(57.545/ 57.480)
Length T1-B (mm)	[T1B, T2B]	20.484(	20.484/ 20.440) 52.866(52.803/ 52.972)
Length T1-C (mm)	[T1C, T2C]	21.516(	21.498/ 21.534) 51.834(51.790/ 51.878)
Length T1-D (mm)	[T1D, T2D]	23.599(	23.536/ 23.726) 49.752(49.752/ 49.687)
Length T1-E (mm)	[T1E, T2E]	28.278(	28.278/ 28.234) 45.072(45.010/ 45.178)
Length T1-T2 (mm)	[T1T2]		73.350 (73.287 / 73.413)

Diameter of single contact point B (mm)	[d-B]	116.592(116.592/ 116.562)	283.430(283.383/ 283.509)
Diameter of single contact point D (mm)	[d-D]	118.924(118.874/ 119.026)	281.166(281.166/ 281.120)
Addendum contact ratio	[eps]	0.868(0.870/ 0.860)	0.733(0.738/ 0.719)
Minimal length of contact line (mm)	[Lmin]		65.100
Transverse contact ratio	[eps_a]		1.600
Transverse contact ratio with allowances	[eps_a.e/m/i]	1.608 /	1.593 / 1.578
Overlap ratio	[eps_b]		1.742
Total contact ratio	[eps_g]		3.342
Total contact ratio with allowances	[eps_g.e/m/i]	3.350 /	3.335 / 3.320

2. FACTORS OF GENERAL INFLUENCE

		----- GEAR 1 -----	GEAR 2 --
Nominal circum. force at pitch circle (N)	[Ft]		18759.7
Axial force (N)	[Fa]		6828.0
Radial force (N)	[Fr]		7266.2
Normal force (N)	[Fnorm]		21244.9
Nominal circumferential force per mm (N/mm)	[w]		468.99
Only as information: Forces at operating pitch circle:			
Nominal circumferential force (N)	[Ftw]		18715.9
Axial force (N)	[Faw]		6828.0
Radial force (N)	[Frw]		7378.2
Circumferential speed reference circle (m/s)	[v]		6.13
Circumferential speed operating pitch circle (m/s)	[v(dw)]		6.14
Running-in value (μm)	[yp]		0.7
Running-in value (μm)	[yf]		0.6
Correction factor	[CM]		0.800
Gear blank factor	[CR]		1.000
Basic rack factor	[CBS]		0.975
Material coefficient	[E/Est]		1.000
Singular tooth stiffness (N/mm/μm)	[c]		14.411
Meshing stiffness (N/mm/μm)	[cg]		20.900
Reduced mass (kg/mm)	[mRed]		0.04156
Resonance speed (min-1)	[nE1]		4867
Resonance ratio (-)	[N]		0.205
Subcritical range			
Running-in value (μm)	[ya]		0.7
Bearing distance l of pinion shaft (mm)	[l]		84.000
Distance s of pinion shaft (mm)	[s]		8.400
Outside diameter of pinion shaft (mm)	[dsh]		42.000
Load according to Figure 6.8, DIN 3990-1:1987 (0:6.8a, 1:6.8b, 2:6.8c, 3:6.8d, 4:6.8e)	[-]	4	
Coefficient K' according to Figure 6.8, DIN 3990-1:1987	[K']	-1.00	
Without stiffening			
Tooth trace deviation (active) (μm)	[Fby]		4.25
from deformation of shaft (μm)	[fsh*B1]		4.39
(fsh (μm) = 4.39, B1= 1.00, fHb5 (μm) = 6.50)			
Tooth without tooth trace modification			
Position of Contact pattern: favorable			
from production tolerances (μm)	[fma*B2]		10.00
(B2= 1.00)			
Tooth trace deviation, theoretical (μm)	[Fbx]		5.00
Running-in value (μm)	[yb]		0.75

Dynamic factor	[KV]		1.031
Face load factor - flank	[KHb]		1.073
- Tooth root	[KFb]		1.063
- Scuffing	[KBb]		1.073
Transverse load factor - flank	[KH _a]		1.027
- Tooth root	[KF _a]		1.027
- Scuffing	[KB _a]		1.027
Helical load factor scuffing	[K _{bg}]		1.298
Number of load cycles (in mio.)	[NL]	840.000	348.679

3. TOOTH ROOT STRENGTH

Calculation of Tooth form coefficients according method: B

		----- GEAR 1 -----	GEAR 2 --
Calculated with manufacturing profile shift	[xE.e]	0.1389	-0.0607
Tooth form factor	[YF]	1.11	1.21
Stress correction factor	[YS]	2.24	2.21
Load application angle (°)	[alfFen]	19.81	19.78
Bending moment arm (mm)	[hF]	2.27	2.58
Tooth thickness at root (mm)	[sFn]	5.54	5.67
Tooth root radius (mm)	[roF]	1.19	1.16
(hF* = 0.910/ 1.033 sFn* = 2.215/ 2.268 roF* = 0.476/ 0.463)			
(den (mm) =			
131.767/315.315 dsFn(mm) = 112.490/276.460 alfsFn(°) = 30.00/ 30.00 qs = 2.326/ 2.449)			
Contact ratio factor	[Yeps]		1.000
Helix angle factor	[Ybet]		0.833
Effective facewidth (mm)	[beff]	42.00	40.00
Nominal stress at tooth root (N/mm ²)	[sigF0]	372.10	416.42
Tooth root stress (N/mm ²)	[sigF]	523.33	585.67
Permissible bending stress at root of Test-gear			
Notch sensitivity factor	[YdrelT]	0.998	1.000
Surface factor	[YRrelT]	0.957	0.957
size factor (Tooth root)	[YX]	1.000	1.000
Finite life factor	[YNT]	1.000	1.000
	[YdrelT*YRrelT*YX*YNT]	0.955	0.956
Alternating bending factor (mean stress influence coefficient)	[YM]	1.000	1.000
Stress correction factor	[Yst]		2.00
Yst*sigFlim (N/mm ²)	[sigFE]	860.00	860.00
Permissible tooth root stress (N/mm ²)	[sigFP=sigFG/SFmin]	586.73	587.42
Limit strength tooth root (N/mm ²)	[sigFG]	821.42	822.39
Required safety	[SFmin]	1.40	1.40
Safety for tooth root stress	[SF=sigFG/sigF]	1.57	1.40
Transmittable power (kW)	[kWRating]	128.91	115.33

4. SAFETY AGAINST PITTING (TOOTH FLANK)

		----- GEAR 1 -----	GEAR 2 --
Zone factor	[ZH]		2.351

Elasticity factor ($\sqrt{N/mm^2}$)	[ZE]	189.812	
Contact ratio factor	[Zeps]	0.790	
Helix angle factor	[Zbet]	0.969	
Effective facewidth (mm)	[beff]	40.00	
Nominal contact stress (N/mm ²)	[sigH0]	814.03	
Contact stress at operating pitch circle (N/mm ²)	[sigHw]	970.29	
Single tooth contact factor	[ZB,ZD]	1.00	1.00
Contact stress (N/mm ²)	[sigHB, sigHD]	970.29	970.29
Lubrication coefficient at NL	[ZL]	1.020	1.020
Speed coefficient at NL	[ZV]	0.987	0.987
Roughness coefficient at NL	[ZR]	0.981	0.981
Material pairing coefficient at NL	[ZW]	1.000	1.000
Finite life factor	[ZNT]	1.000	1.000
	[ZL*ZV*ZR*ZNT]	0.988	0.988
Limited pitting is permitted:	No		
Size factor (flank)	[ZX]	1.000	1.000
Permissible contact stress (N/mm ²)	[sigHP=sigHG/SHmin]	1481.59	1481.59
Pitting stress limit (N/mm ²)	[sigHG]	1481.59	1481.59
Required safety	[SHmin]	1.00	1.00
Safety factor for contact stress at operating pitch circle			
	[SHw]	1.53	1.53
Safety for stress at single tooth contact	[SHBD=sigHG/sigHBD]	1.53	1.53
(Safety regarding transmittable torque)	[(SHBD)^2]	2.33	2.33
Transmittable power (kW)	[kWRating]	268.09	268.09

4b. MICROPITTING ACCORDING TO ISO/TR 15144-1:2014

Calculation did not run. (Lubricant: Load stage micropitting test is unknown.)

5. SCUFFING LOAD CAPACITY

Calculation method according to DIN 3990:1987

Lubrication coefficient (for lubrication type)	[XS]	1.000	
Scuffing test and load stage	[FZGtest]	FZG - Test A / 8.3 / 90 (ISO 14635 - 1)	12
Relative structure coefficient (Scuffing)	[XWrelT]	1.000	
Thermal contact factor (N/mm/s ^{0.5} /K)	[BM]	13.780	13.780
Relevant tip relief (μm)	[Ca]	2.00	2.00
Optimal tip relief (μm)	[Ceff]	28.05	
Ca taken as optimal in the calculation (0=no, 1=yes)		0	0
Effective facewidth (mm)	[beff]	40.000	
Applicable circumferential force/facewidth (N/mm)	[wBt]	865.120	
Angle factor ($\epsilon_1:0.868$, $\epsilon_2:0.733$)	[Xalfbet]	0.988	
Flash temperature-criteria			
Tooth mass temperature ($^{\circ}\text{C}$) (theMB = theoil + XS*0.47*theflamax)	[theMB]	81.79	
Maximum flash temperature ($^{\circ}\text{C}$)	[theflamax]	25.09	
Scuffing temperature ($^{\circ}\text{C}$)	[theS]	408.58	
Coordinate gamma (point of highest temp.) [Gamma.A]=-0.265 [Gamma.E]=0.314	[Gamma]	-0.265	
Highest contact temp. ($^{\circ}\text{C}$)	[theB]	106.88	

Flash factor ($^{\circ}\text{K}^{\circ}\text{N}^{\wedge}-.75^{\circ}\text{s}^{\wedge}.5^{\circ}\text{m}^{\wedge}-.5^{\circ}\text{mm}$)	[XM]	50.058
Geometry factor	[XB]	0.156
Load sharing factor	[XGam]	0.333
Dynamic viscosity (mPa*s)	[etaM]	26.88 (70.0 °C)
Coefficient of friction	[mym]	0.093
Required safety	[SBmin]	2.000
Safety factor for scuffing (flash temperature)	[SB]	9.178
Integral temperature-criteria		
Tooth mass temperature (°C)	[theMC]	80.71
(theMC = theoil + XS*0.70*theflaint)		
Mean flash temperature (°C)	[theflaint]	15.30
Integral scuffing temperature (°C)	[theSint]	408.58
Flash factor ($^{\circ}\text{K}^{\circ}\text{N}^{\wedge}-.75^{\circ}\text{s}^{\wedge}.5^{\circ}\text{m}^{\wedge}-.5^{\circ}\text{mm}$)	[XM]	50.058
Contact ratio factor	[Xeps]	0.248
Dynamic viscosity (mPa*s)	[etaOil]	41.90 (70.0 °C)
Mean coefficient of friction	[mym]	0.077
Geometry factor	[XBE]	0.156
Meshing factor	[XQ]	1.000
Tip relief factor	[XCa]	1.018
Integral tooth flank temperature (°C)	[theint]	103.67
Required safety	[SSmin]	1.800
Safety factor for scuffing (intg.-temp.)	[SSint]	3.941
Safety referring to transmittable torque	[SSL]	10.057

6. MEASUREMENTS FOR TOOTH THICKNESS

		----- Gear 1 -----	Gear 2 --
		DIN 3967 cd25	DIN 3967 cd25
Tooth thickness tolerance			
Tooth thickness allowance (normal section) (mm)	[As.e/i]	-0.070 / -0.110	-0.130 / -0.190
Number of teeth spanned	[k]	7.000	14.000
Base tangent length (no backlash) (mm)	[Wk]	50.115	104.084
Actual base tangent length (span) (mm)	[Wk.e/i]	50.049 / 50.011	103.961 / 103.905
(mm)	[ΔWk.e/i]	-0.066 / -0.103	-0.122 / -0.179
Diameter of measuring circle (mm)	[dMWk.m]	118.995	280.784
Theoretical diameter of ball/pin (mm)	[DM]	4.292	4.199
Effective diameter of ball/pin (mm)	[DMeff]	4.500	4.250
Radial single-ball measurement backlash free (mm)	[MrK]	62.287	143.958
Radial single-ball measurement (mm)	[MrK.e/i]	62.204 / 62.156	143.785 / 143.705
Diameter of measuring circle (mm)	[dMMr.m]	118.163	281.770
Diametral measurement over two balls without clearance (mm)	[MdK]	124.575	287.916
Diametral two ball measure (mm)	[MdK.e/i]	124.407 / 124.311	287.570 / 287.410
Diametral measurement over pins without clearance (mm)	[MdR]	124.575	287.916
Measurement over pins according to DIN 3960 (mm)	[MdR.e/i]	124.407 / 124.311	287.570 / 287.410
Measurement over 3 pins (axial) according to AGMA 2002 (mm)	[dk3A.e/i]	124.407 / 124.311	287.570 / 287.410
Chordal tooth thickness (no backlash) (mm)	[sc]	4.249	3.946
Actual chordal tooth thickness (mm)	[sc.e/i]	4.179 / 4.139	3.816 / 3.756
Reference chordal height from da.m (mm)	[ha]	2.964	2.522
Tooth thickness (Arc) (mm)	[sn]	4.250	3.946
(mm)	[sn.e/i]	4.180 / 4.140	3.816 / 3.756
Backlash free center distance (mm)	[aControl.e/i]	199.728	/199.591
Backlash free center distance, allowances (mm)	[jta]	-0.272 /	-0.409

dNf.i with aControl (mm)	[dNf0.i]	113.039	277.273
Reserve (dNf0.i-dFf.e)/2 (mm)	[cF0.i]	-0.131	0.115
Tip clearance (mm)	[c0.i(aControl)]	0.395	0.313
Center distance allowances (mm)	[Aa.e/i]	0.023 /	-0.023
Circumferential backlash from Aa (mm)	[jtw_Aa.e/i]	0.018 /	-0.018
Radial backlash (mm)	[jrw.e/i]	0.432 /	0.249
Circumferential backlash (transverse section) (mm)	[jtw.e/i]	0.338 /	0.195
Normal backlash (mm)	[jn.e/i]	0.298 /	0.172
Angle of rotation on input with fixed output:			
Entire torsional angle (°)	[j.tSys]		0.3302/0.1906

7. GEAR ACCURACY

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

According to DIN 3961:1978

	[Q-DIN3961]	6	6
Accuracy grade			
Profile form deviation (μm)	[ff]	8.00	8.00
Profile slope deviation (μm)	[fHa]	6.00	6.00
Total profile deviation (μm)	[Ff]	10.00	10.00
Helix form deviation (μm)	[fbf]	8.00	5.50
Helix slope deviation (μm)	[fHb]	10.00	9.00
Total helix deviation (μm)	[Fb]	13.00	10.00
Normal base pitch deviation (μm)	[fpe]	8.00	9.00
Single pitch deviation (μm)	[fp]	8.00	9.00
Adjacent pitch difference (μm)	[fu]	10.00	11.00
Total cumulative pitch deviation (μm)	[Fp]	27.00	37.00
Sector pitch deviation over z/8 pitches (μm)	[Fpz/8]	17.00	23.00
Runout (μm)	[Fr]	19.00	25.00
Tooth Thickness Variation (μm)	[Rs]	11.00	14.00
Single flank composite, total (μm)	[F'i]	30.00	38.00
Single flank composite, tooth-to-tooth (μm)	[fi']	13.00	13.00
Radial composite, total (μm)	[F'i'']	22.00	29.00
Radial composite, tooth-to-tooth (μm)	[fi'']	9.00	13.00

According to DIN 58405:1972 (Feinwerktechnik):

Tooth-to-tooth composite error (μm)	[fi'']	10.00	11.00
Composite error (μm)	[F'i'']	28.00	32.00
Axis alignment error (μm)	[fp]	34.00	34.00
Flank direction error (μm)	[fbeta]	8.82	8.40
Runout (μm)	[Trk, Fr]	28.00	30.00

Axis alignment tolerances (recommendation acc. to ISO TR 10064-3:1996, Quality

6)

Maximum value for deviation error of axis (μm)	[fSigbet]	13.65 (Fb= 13.00)
Maximum value for inclination error of axes (μm)	[fSigdel]	27.30

8. ADDITIONAL DATA

Maximal possible center distance (eps_a=1.0)	[aMAX]	201.763	
Mass (kg)	[m]	3.452	19.385
Total mass (kg)	[m]	22.836	
Moment of inertia (system with reference to the drive):			
calculation without consideration of the exact tooth shape			
single gears ((da+df)/2...di) (kg*m ²)	[TraeghMom]	0.00611	0.19289
System ((da+df)/2...di) (kg*m ²)	[TraeghMom]	0.03935	

Torsional stiffness at driving gear with fixed driven gear:

Torsional stiffness (MNm/rad)	[cr]	2.484
Torsion when subjected to nominal torque (°)	[delcr]	0.025
Mean coeff. of friction (acc. Niemann)	[mum]	0.059
Wear sliding coef. by Niemann	[zetw]	0.542
Gear power loss (kW)	[PVZ]	0.495
(Meshing efficiency (%))	[etaz]	99.570
Sound pressure level (according to Masuda, without contact analysis)	[dB(A)]	80.6

9. MODIFICATIONS AND TOOTH FORM DEFINITION

Data for the tooth form calculation :

Data not available.

Please run the calculation in the "Tooth form" tab and open the main report again.

10. SERVICE LIFE, DAMAGE

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

Service life (calculated with required safeties):

System service life (h) [Hatt] > 1000000

Tooth root service life (h)	[HFatt]	1e+006	1e+006
Tooth flank service life (h)	[HHatt]	1e+006	1e+006

Note: The entry 1e+006 h means that the Service life > 1,000,000 h.

Damage calculated on the basis of the required service life [H] (14000.0 h)

F1%	F2%	H1%	H2%
0.00	0.0000	0.0000	0.0000

Calculation of the factors required to define reliability R(t) according to B. Bertsche with Weibull distribution; t in (h):

$$R(t) = 100 * \text{Exp}(-((t^{\text{fac}} - t_0)/(T - t_0))^b) \%$$

Gear		fac	b	t0	T	R(H)%
1	Tooth root	60000	1.7	9.654e+029	1.484e+030	100.00
1	Tooth flank	60000	1.3	9.014e+029	4.295e+030	100.00
2	Tooth root	24906	1.7	9.654e+029	1.484e+030	100.00
2	Tooth flank	24906	1.3	9.014e+029	4.295e+030	100.00

Reliability of the configuration for required service life (%) 100.00 (Bertsche)

REMARKS:

- Specifications with [.,e/i] imply: Maximum [e] and Minimal value [i] with consideration of all tolerances
- Specifications with [.,m] imply: Mean value within tolerance
- For the backlash tolerance, the center distance tolerances and the tooth thickness deviation are taken into account. Shown is the maximal and the minimal backlash corresponding the largest resp. the smallest allowances
- The calculation is done for the operating pitch circle.
- Details of calculation method:
 - cg according to method B
 - KV according to method B
 - KHb, KFb according method C
 - KHa, KFa according to method B

_O.GroupBox.GearPair_z34.GearPair_z34_calc

CALCULATION OF A HELICAL GEAR PAIR

Drawing or article number:

Gear 1: z3(GearPair_z34)
Gear 2: z4(GearPair_z34)

Calculation method: DIN 3990:1987 Method B

		----- GEAR 1 -----	----- GEAR 2 --
Power (kW)	[P]		112.683
Speed (1/min)	[n]	415.1	181.6
Torque (Nm)	[T]	2592.3	5925.2
Application factor	[KA]		1.25
Required service life (h)	[H]		14000.00
Gear driving (+) / driven (-)		+	-
Working flank gear 1: Left flank			
Sense of rotation gear 1 counterclockwise			

1. TOOTH GEOMETRY AND MATERIAL

(geometry calculation according to ISO 21771:2007, DIN ISO 21771)

		----- GEAR 1 -----	----- GEAR 2 --
Center distance (mm)	[a]	200.000	
Center distance tolerance		ISO 286:2010 Measure js7	
Normal module (mm)	[mn]	4.0000	
Pressure angle at normal section (°)	[alfn]	20.0000	
Helix angle at reference circle (°)	[beta]	20.0000	
Number of teeth	[z]	28	64
Facewidth (mm)	[b]	53.00	51.00
Hand of gear			right
Accuracy grade	[Q-DIN 3961:1978]	6	6
Inner diameter (mm)	[di]	20.00	45.00
Inner diameter of gear rim (mm)	[dbi]	0.00	0.00

Material

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

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

		----- GEAR 1 -----	----- GEAR 2 --	HRC
Surface hardness			HRC 61	
61				
Fatigue strength, tooth root stress (N/mm ²)	[σFlim]	430.00	430.00	
Fatigue strength for Hertzian pressure (N/mm ²)	[σHlim]	1500.00	1500.00	
Tensile strength (N/mm ²)	[σB]	1200.00	1200.00	
Yield point (N/mm ²)	[σS]	850.00	850.00	
Young's modulus (N/mm ²)	[E]	206000		206000
Poisson's ratio	[ν]	0.300	0.300	
Roughness average value DS, flank (μm)	[RAH]	0.60	0.60	
Roughness average value DS, root (μm)	[RAF]	3.00	3.00	
Mean roughness height, Rz, flank (μm)	[RZH]	4.80	4.80	
Mean roughness height, Rz, root (μm)	[RZF]	20.00	20.00	

Gear reference profile 1 :

Reference profile 1.25 / 0.38 / 1.0 ISO 53:1998 Profil A

Dedendum coefficient	[hfP*]	1.250
Root radius factor	[rhofP*]	0.380 (rhofPmax*=0.472)
Addendum coefficient	[haP*]	1.000
Tip radius factor	[rhoaP*]	0.000
Protuberance height coefficient	[hprP*]	0.000
Protuberance angle	[alfprP]	0.000
Tip form height coefficient	[hFaP*]	0.000
Ramp angle	[alfKP]	0.000

not topping

Gear reference profile 2 :

Reference profile 1.25 / 0.38 / 1.0 ISO 53:1998 Profil A

Dedendum coefficient	[hfP*]	1.250
----------------------	--------	-------

Root radius factor	[rhofP*]	0.380	(rhofPmax*=0.472)
Addendum coefficient	[haP*]	1.000	
Tip radius factor	[rhoaP*]	0.000	
Protuberance height coefficient	[hprP*]	0.000	
Protuberance angle	[alfprP]	0.000	
Tip form height coefficient	[hFaP*]	0.000	
Ramp angle	[alfKP]	0.000	
		not topping	
Summary of reference profile gears:			
Dedendum reference profile	[hfP*]	1.250	1.250
Tooth root radius Refer. profile	[rofP*]	0.380	0.380
Addendum Reference profile	[haP*]	1.000	1.000
Protuberance height coefficient	[hprP*]	0.000	0.000
Protuberance angle (°)	[alfprP]	0.000	0.000
Tip form height coefficient	[hFaP*]	0.000	0.000
Ramp angle (°)	[alfKP]	0.000	0.000
Type of profile modification:	none (only running-in)		
Tip relief (µm)	[Ca]	2.0	2.0
Lubrication type	Oil bath lubrication		
Type of oil	Oil: ISO-VG 220		
Lubricant base	Mineral-oil base		
Kinem. viscosity oil at 40 °C (mm ² /s)	[nu40]	220.00	
Kinem. viscosity oil at 100 °C (mm ² /s)	[nu100]	17.50	
Specific density at 15 °C (kg/dm ³)	[roOil]	0.895	
Oil temperature (°C)	[TS]	70.000	
		----- GEAR 1 -----	GEAR 2 --
Overall transmission ratio	[itot]	-2.286	
Gear ratio	[u]	2.286	
Transverse module (mm)	[mt]	4.257	
Pressure angle at pitch circle (°)	[aft]	21.173	
Working transverse pressure angle (°)	[alfwt]	24.083	
	[alfwt.e/i]	24.098 /	24.069
Working pressure angle at normal section (°)	[alfwn]	22.732	
Helix angle at operating pitch circle (°)	[betaw]	20.393	
Base helix angle (°)	[betab]	18.747	
Reference center distance (mm)	[ad]	195.809	
Sum of profile shift coefficients	[Summexi]	1.1179	
Profile shift coefficient	[x]	0.4863	0.6317
Tooth thickness (Arc) (module) (module)	[sn*]	1.9248	2.0306
Tip alteration (mm)	[k*mn]	-0.280	-0.280
Reference diameter (mm)	[d]	119.188	272.430
Base diameter (mm)	[db]	111.142	254.039
Tip diameter (mm)	[da]	130.518	284.923
(mm)	[da.e/i]	130.518 /	130.478
Tip diameter allowances (mm)	[Ada.e/i]	0.000 /	-0.040
Tip form diameter (mm)	[dFa]	130.518	284.923
(mm)	[dFa.e/i]	130.518 /	130.478
Active tip diameter (mm)	[dNa]	130.518	284.923
Active tip diameter (mm)	[dNa.e/i]	130.518 /	130.478
Operating pitch diameter (mm)	[dw]	121.739	278.261
(mm)	[dw.e/i]	121.753 /	121.725
Root diameter (mm)	[df]	113.078	267.483
Generating Profile shift coefficient	[xE.e/i]	0.4622/	0.4485
Generated root diameter with xE (mm)	[df.e/i]	112.886 /	112.776
Theoretical tip clearance (mm)	[c]	1.000	1.000
Effective tip clearance (mm)	[c.e/i]	1.242 /	1.107
Active root diameter (mm)	[dNf]	116.288	271.150
(mm)	[dNf.e/i]	116.355 /	116.255
Root form diameter (mm)	[dFf]	115.566	269.590
(mm)	[dFf.e/i]	115.422 /	115.340
Reserve (dNf-dFf)/2 (mm)	[cF.e/i]	0.508 /	0.417
Addendum (mm)	[ha=mn*(haP*+x+k)]	5.665	6.247
(mm)	[ha.e/i]	5.665 /	5.645
Dedendum (mm)	[hf=mn*(hfP*-x)]	3.055	2.473
(mm)	[hf.e/i]	3.151 /	3.206
Roll angle at dFa (°)	[xsi_dFa.e/i]	35.276 /	35.237
Roll angle to dNa (°)	[xsi_dNa.e/i]	35.276 /	35.237
Roll angle to dNf (°)	[xsi_dNf.e/i]	17.753 /	17.578
Roll angle at dFf (°)	[xsi_dFf.e/i]	16.052 /	15.895
Tooth height (mm)	[h]	8.720	8.720
Virtual gear no. of teeth	[zn]	33.229	75.953

Normal tooth thickness at tip circle (mm)	[san]	2.755		3.083
(mm)	[san.e/i]	2.702 /	2.636	3.008 / 2.932
Normal tooth thickness on tip form circle (mm)	[sFan]	2.755		3.083
(mm)	[sFan.e/i]	2.702 /	2.636	3.008 / 2.932
Normal space width at root circle (mm)	[efn]	2.973		2.715
(mm)	[efn.e/i]	3.002 /	3.019	2.726 / 2.731
Max. sliding velocity at tip (m/s)	[vga]	0.586		0.483
Specific sliding at the tip	[zetaa]	0.394		0.394
Specific sliding at the root	[zetaf]	-0.650		-0.650
Mean specific sliding	[zetam]		0.394	
Sliding factor on tip	[Kga]	0.221		0.183
Sliding factor on root	[Kgf]	-0.183		-0.221
Pitch on reference circle (mm)	[pt]		13.373	
Base pitch (mm)	[pbt]		12.470	
Transverse pitch on contact-path (mm)	[pet]		12.470	
Lead height (mm)	[pz]	1028.765		2351.463
Axial pitch (mm)	[px]		36.742	
Length of path of contact (mm)	[ga, e/i]	17.109 (	17.165 /	16.957)
Length T1-A, T2-A (mm)	[T1A, T2A]	17.105(	17.049/	17.219)
Length T1-B (mm)	[T1B, T2B]	21.744(	21.744/	21.706)
Length T1-C (mm)	[T1C, T2C]	24.839(	24.822/	24.856)
Length T1-D (mm)	[T1D, T2D]	29.575(	29.519/	29.689)
Length T1-E (mm)	[T1E, T2E]	34.214(	34.214/	34.176)
Length T1-T2 (mm)	[T1T2]		81.613 (	81.556 / 81.669)
Diameter of single contact point B (mm)	[d-B]	119.347(	119.347/	119.319)
Diameter of single contact point D (mm)	[d-D]	125.902(	125.849/	126.009)
Addendum contact ratio	[eps]	0.752(	0.753/	0.747)
Minimal length of contact line (mm)	[Lmin]		68.291	
Transverse contact ratio	[eps_a]		1.372	
Transverse contact ratio with allowances	[eps_a.e/m/i]		1.377 /	1.368 / 1.360
Overlap ratio	[eps_b]		1.388	
Total contact ratio	[eps_g]		2.760	
Total contact ratio with allowances	[eps_g.e/m/i]		2.765 /	2.756 / 2.748

2. FACTORS OF GENERAL INFLUENCE

		----- GEAR 1 -----	GEAR 2 --
Nominal circum. force at pitch circle (N)	[Ft]		43499.0
Axial force (N)	[Fa]		15832.3
Radial force (N)	[Fr]		16848.4
Normal force (N)	[Fnorm]		49261.5
Nominal circumferential force per mm (N/mm)	[w]		852.92
Only as information: Forces at operating pitch circle:			
Nominal circumferential force (N)	[Ftw]		42587.4
Axial force (N)	[Faw]		15832.3
Radial force (N)	[Frw]		19035.4
Circumferential speed reference circle (m/s)	[v]		2.59
Circumferential speed operating pitch circle (m/s)	[v(dw)]		2.65
Running-in value (µm)	[yp]		0.7
Running-in value (µm)	[yf]		0.8
Correction factor	[CM]		0.800
Gear blank factor	[CR]		1.000
Basic rack factor	[CBS]		0.975
Material coefficient	[E/Est]		1.000
Singular tooth stiffness (N/mm/µm)	[c]		14.880
Meshing stiffness (N/mm/µm)	[cg]		19.031
Reduced mass (kg/mm)	[mRed]		0.04571
Resonance speed (min-1)	[nE 1]		6959
Resonance ratio (-)	[N]		0.060
Subcritical range			
Running-in value (µm)	[ya]		0.7
Bearing distance l of pinion shaft (mm)	[l]		106.000
Distance s of pinion shaft (mm)	[s]		10.600
Outside diameter of pinion shaft (mm)	[dsh]		53.000
Load according to Figure 6.8, DIN 3990-1:1987	[-]	4	
(0:6.8a, 1:6.8b, 2:6.8c, 3:6.8d, 4:6.8e)			
Coefficient K' according to Figure 6.8, DIN 3990-1:1987	[K']	-1.00	
Without stiffening			
Tooth trace deviation (active) (µm)	[Fby]		4.57
from deformation of shaft (µm)	[fsh*B1]		7.35
(fsh (µm) = 7.35, B1= 1.00, fHb5 (µm) = 7.00)			
Tooth without tooth trace modification			

Position of Contact pattern: favorable from production tolerances (μm) (B2= 1.00)	[fma*B2]	10.00	
Tooth trace deviation, theoretical (μm)	[Fbx]	5.38	
Running-in value (μm)	[yb]	0.81	
Dynamic factor	[KV]	1.009	
Face load factor - flank	[KHb]	1.040	
- Tooth root	[KFb]	1.033	
- Scuffing	[KBb]	1.040	
Transverse load factor - flank	[KH _a]	1.000	
- Tooth root	[KF _a]	1.000	
- Scuffing	[KB _a]	1.000	
Helical load factor scuffing	[K _{bg}]	1.261	
Number of load cycles (in mio.)	[NL]	348.679	152.547

3. TOOTH ROOT STRENGTH

Calculation of Tooth form coefficients according method: B

		----- GEAR 1 -----	GEAR 2 --
Calculated with profile shift	[x]	0.4863	0.6317
Tooth form factor	[YF]	1.16	1.19
Stress correction factor	[YS]	2.33	2.38
Load application angle (°)	[alfFen]	23.24	22.46
Bending moment arm (mm)	[hF]	4.03	4.37
Tooth thickness at root (mm)	[sFn]	9.04	9.32
Tooth root radius (mm)	[roF]	1.67	1.56
(hF* = 1.008/ 1.094 sFn* = 2.259/ 2.331 roF* = 0.418/ 0.389)			
(den (mm) = 138.411/311.120 dsFn(mm) = 114.494/268.942 alfsFn(°) = 30.00/ 30.00 qs = 2.700/ 2.994)			
Contact ratio factor	[Yeps]		1.000
Helix angle factor	[Ybet]		0.833
Effective facewidth (mm)	[beff]	53.00	51.00
Nominal stress at tooth root (N/mm ²)	[sigF0]	460.59	503.48
Tooth root stress (N/mm ²)	[sigF]	600.14	656.04
Permissible bending stress at root of Test-gear			
Notch sensitivity factor	[YdrelT]	1.002	1.004
Surface factor	[YRrelT]	0.957	0.957
size factor (Tooth root)	[YX]	1.000	1.000
Finite life factor	[YNT]	1.000	1.000
	[YdrelT*YRrelT*YX*YNT]	0.959	0.961
Alternating bending factor (mean stress influence coefficient)	[YM]		1.000
Stress correction factor	[Yst]		2.00
Yst*sigFlim (N/mm ²)	[sigFE]	860.00	860.00
Permissible tooth root stress (N/mm ²)	[sigFP=sigFG/SFmin]	588.80	590.35
Limit strength tooth root (N/mm ²)	[sigFG]	824.33	826.48
Required safety	[SFmin]	1.40	1.40
Safety for tooth root stress	[SF=sigFG/sigF]	1.37	1.26
Transmittable power (kW)	[kWRating]	110.55	101.40

4. SAFETY AGAINST PITTING (TOOTH FLANK)

		----- GEAR 1 -----	GEAR 2 --
Zone factor	[ZH]		2.207
Elasticity factor ($\sqrt{\text{N/mm}^2}$)	[ZE]		189.812
Contact ratio factor	[Zeps]		0.854
Helix angle factor	[Zbet]		0.969
Effective facewidth (mm)	[beff]		51.00
Nominal contact stress (N/mm ²)	[sigH0]		1112.17
Contact stress at operating pitch circle (N/mm ²)	[sigHw]		1273.81
Single tooth contact factor	[ZB,ZD]	1.00	1.00
Contact stress (N/mm ²)	[sigHB, sigHD]	1273.81	1273.81
Lubrication coefficient at NL	[ZL]	1.020	1.020
Speed coefficient at NL	[ZV]	0.969	0.969
Roughness coefficient at NL	[ZR]	0.981	0.981

Material pairing coefficient at NL	[ZW]	1.000	1.000
Finite life factor	[ZNT]	1.000	1.000
	[ZL*ZV*ZR*ZNT]	0.969	0.969
Limited pitting is permitted:	No		
Size factor (flank)	[ZX]	1.000	1.000
Permissible contact stress (N/mm ²)	[sigHP=sigHG/SHmin]	1453.89	1453.89
Pitting stress limit (N/mm ²)	[sigHG]	1453.89	1453.89
Required safety	[SHmin]	1.00	1.00
Safety factor for contact stress at operating pitch circle	[SHw]	1.14	1.14
Safety for stress at single tooth contact	[SHBD=sigHG/sigHBD]	1.14	1.14
(Safety regarding transmittable torque)	[(SHBD)^2]	1.30	1.30
Transmittable power (kW)	[kWRating]	146.80	146.80

4b. MICROPITTING ACCORDING TO ISO/TR 15144-1:2014

Calculation did not run. (Lubricant: Load stage micropitting test is unknown.)

5. SCUFFING LOAD CAPACITY

Calculation method according to DIN 3990:1987

Lubrication coefficient (for lubrication type)	[XS]	1.000	
Scuffing test and load stage	[FZGtest]	FZG - Test A / 8.3 / 90 (ISO 14635 - 1)	12
Relative structure coefficient (Scuffing)	[XWrelT]	1.000	
Thermal contact factor (N/mm/s ^{0.5} /K)	[BM]	13.780	13.780
Relevant tip relief (µm)	[Ca]	2.00	2.00
Optimal tip relief (µm)	[Ceff]	56.02	
Ca taken as optimal in the calculation (0=no, 1=yes)		0	0
Effective facewidth (mm)	[beff]	51.000	
Applicable circumferential force/facewidth (N/mm)	[wBt]	1410.831	
Angle factor (ε1:0.752, ε2:0.620)	[Xalfbet]	1.024	
Flash temperature-criteria			
Tooth mass temperature (°C)	[theMB]	99.71	
(theMB = theoil + XS*0.47*theflamax)			
Maximum flash temperature (°C)	[theflamax]	63.22	
Scuffing temperature (°C)	[theS]	408.58	
Coordinate gamma (point of highest temp.)	[Gamma]	0.191	
[Gamma.A]=-0.311 [Gamma.E]=0.377			
Highest contact temp. (°C)	[theB]	162.94	
Flash factor (°K*N ^{-0.75} *s ^{0.5} *m ^{-0.5} *mm)	[XM]	50.058	
Geometry factor	[XB]	0.098	
Load sharing factor	[XGam]	1.000	
Dynamic viscosity (mPa*s)	[etaM]	15.15 (70.0 °C)	
Coefficient of friction	[mym]	0.127	
Required safety	[SBmin]	2.000	
Safety factor for scuffing (flash temperature)	[SB]	3.643	
Integral temperature-criteria			
Tooth mass temperature (°C)	[theMC]	89.73	
(theMC = theoil + XS*0.70*theflaint)			
Mean flash temperature (°C)	[theflaint]	28.18	
Integral scuffing temperature (°C)	[theSint]	408.58	
Flash factor (°K*N ^{-0.75} *s ^{0.5} *m ^{-0.5} *mm)	[XM]	50.058	
Contact ratio factor	[Xeps]	0.292	
Dynamic viscosity (mPa*s)	[etaOil]	41.90 (70.0 °C)	
Mean coefficient of friction	[mym]	0.102	
Geometry factor	[XBE]	0.189	
Meshing factor	[XQ]	1.000	
Tip relief factor	[XCa]	1.010	
Integral tooth flank temperature (°C)	[theint]	132.01	
Required safety	[SSmin]	1.800	
Safety factor for scuffing (intg.-temp.)	[SSint]	3.095	
Safety referring to transmittable torque	[SSL]	5.460	

6. MEASUREMENTS FOR TOOTH THICKNESS

Tooth thickness tolerance

----- Gear 1 ----- Gear 2 --
DIN 3967 cd25

DIN 3967 cd25

Tooth thickness allowance (normal section) (mm)	[As.e/i]	-0.070 / -0.110	-0.095 / -0.145
Number of teeth spanned	[k]	5.000	10.000
Base tangent length (no backlash) (mm)	[Wk]	56.342	118.190
Actual base tangent length (span) (mm)	[Wk.e/i]	56.276 / 56.238	118.100 / 118.053
(mm)	[ΔWk.e/i]	-0.066 / -0.103	-0.089 / -0.136
Diameter of measuring circle (mm)	[dMWk.m]	123.250	277.557
Theoretical diameter of ball/pin (mm)	[DM]	7.384	7.080
Effective diameter of ball/pin (mm)	[DMeff]	7.500	7.500
Radial single-ball measurement backlash free (mm)	[MrK]	66.991	144.388
Radial single-ball measurement (mm)	[MrK.e/i]	66.918 / 66.876	144.278 / 144.220
Diameter of measuring circle (mm)	[dMMr.m]	123.080	278.037
Diametral measurement over two balls without clearance (mm)	[MdK]	133.982	288.777
Diametral two ball measure (mm)	[MdK.e/i]	133.836 / 133.753	288.557 / 288.441
Diametral measurement over pins without clearance (mm)	[MdR]	133.982	288.777
Measurement over pins according to DIN 3960 (mm)	[MdR.e/i]	133.836 / 133.753	288.557 / 288.441
Measurement over 3 pins (axial) according to AGMA 2002 (mm)	[dk3A.e/i]	133.836 / 133.753	288.557 / 288.441
Chordal tooth thickness (no backlash) (mm)	[sc]	7.695	8.121
Actual chordal tooth thickness (mm)	[sc.e/i]	7.625 / 7.585	8.026 / 7.976
Reference chordal height from da.m (mm)	[ha]	5.765	6.287
Tooth thickness (Arc) (mm)	[sn]	7.699	8.122
(mm)	[sn.e/i]	7.629 / 7.589	8.027 / 7.977
Backlash free center distance (mm)	[aControl.e/i]	199.799 / 199.689	
Backlash free center distance, allowances (mm)	[jta]	-0.201 / -0.311	
dNf.i with aControl (mm)	[dNf0.i]	115.847	270.619
Reserve (dNf0.i-dFf.e)/2 (mm)	[cF0.i]	0.213	0.635
Tip clearance (mm)	[c0.i(aControl)]	0.819	0.784
Center distance allowances (mm)	[Aa.e/i]	0.023 / -0.023	
Circumferential backlash from Aa (mm)	[jtw_Aa.e/i]	0.021 / -0.021	
Radial backlash (mm)	[jrw.e/i]	0.334 / 0.178	
Circumferential backlash (transverse section) (mm)	[jtw.e/i]	0.298 / 0.159	
Normal backlash (mm)	[jn.e/i]	0.255 / 0.139	
Angle of rotation on input with fixed output.:			
Entire torsional angle (°)	[j.tSys]		0.2803/0.1495

7. GEAR ACCURACY

		----- GEAR 1 -----	GEAR 2 --
According to DIN 3961:1978			
Accuracy grade	[Q-DIN3961]	6	6
Profile form deviation (μm)	[ff]	10.00	10.00
Profile slope deviation (μm)	[fHa]	7.00	7.00
Total profile deviation (μm)	[Ff]	13.00	13.00
Helix form deviation (μm)	[fbf]	8.00	8.00
Helix slope deviation (μm)	[fHb]	10.00	10.00
Total helix deviation (μm)	[Fb]	13.00	13.00
Normal base pitch deviation (μm)	[fpe]	9.00	9.00
Single pitch deviation (μm)	[fp]	9.00	9.00
Adjacent pitch difference (μm)	[fu]	11.00	11.00
Total cumulative pitch deviation (μm)	[Fp]	29.00	35.00
Sector pitch deviation over z/8 pitches (μm)	[Fpz/8]	18.00	22.00
Runout (μm)	[Fr]	22.00	25.00
Tooth Thickness Variation (μm)	[Rs]	13.00	15.00
Single flank composite, total (μm)	[F'i]	34.00	38.00
Single flank composite, tooth-to-tooth (μm)	[fi']	15.00	15.00
Radial composite, total (μm)	[F'']	25.00	28.00
Radial composite, tooth-to-tooth (μm)	[fi'']	11.00	12.00
Axis alignment tolerances (recommendation acc. to ISO TR 10064-3:1996, Quality 6)			
Maximum value for deviation error of axis (μm)	[fSigbet]		15.59 (Fb= 15.00)
Maximum value for inclination error of axes (μm)	[fSigdel]		31.18

8. ADDITIONAL DATA

Mass (kg)	[m]	4.705	23.291
Total mass (kg)	[m]	27.996	
Moment of inertia (system with reference to the drive): calculation without consideration of the exact tooth shape			

single gears	$((da+df)/2...di)$ (kg*m ²)	[TraeghMom]	0.00896	0.22800
System	$((da+df)/2...di)$ (kg*m ²)	[TraeghMom]	0.05260	
Torsional stiffness at driving gear with fixed driven gear:				
Torsional stiffness (MNm/rad)		[cr]	2.935	
Torsion when subjected to nominal torque (°)		[delcr]	0.051	
Mean coeff. of friction (acc. Niemann)		[mum]	0.074	
Wear sliding coef. by Niemann		[zetw]	0.540	
Gear power loss (kW)		[PVZ]	0.825	
(Meshing efficiency (%))		[etaz]	99.267	
Sound pressure level (according to Masuda, without contact analysis)		[dB(A)]	80.6	

9. MODIFICATIONS AND TOOTH FORM DEFINITION

Data for the tooth form calculation :

Data not available.

Please run the calculation in the "Tooth form" tab and open the main report again.

10. SERVICE LIFE, DAMAGE

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

Service life (calculated with required safeties):

System service life (h)	[Hatt]	105		
Tooth root service life (h)	[HFatt]	104.7	128.8	
Tooth flank service life (h)	[HHatt]	1e+006		1e+006

Note: The entry 1e+006 h means that the Service life > 1,000,000 h.

Damage calculated on the basis of the required service life [H] (14000.0 h)

F1%	F2%	H1%	H2%
9999.99	9999.9900	0.0000	0.0000

Damage calculated on basis of system service life [Hatt] (104.7 h)

F1%	F2%	H1%	H2%
100.00	81.2955	0.0000	0.0000

Calculation of the factors required to define reliability R(t) according to B. Bertsche with Weibull distribution; t in (h):

$$R(t) = 100 * \text{Exp}(-((t^{\text{fac}} - t_0)/(T - t_0))^b) \%$$

Gear		fac	b	t0	T	R(H)%
1	Tooth root	24906	1.7	2.518e+006	3.87e+006	0.00
1	Tooth flank	24906	1.3	9.014e+029	4.295e+030	100.00
2	Tooth root	10896	1.7	1.355e+006	2.083e+006	0.00
2	Tooth flank	10896	1.3	9.014e+029	4.295e+030	100.00

Reliability of the configuration for required service life (%) 0.00 (Bertsche)

REMARKS:

- Specifications with [e/i] imply: Maximum [e] and Minimal value [i] with consideration of all tolerances
- Specifications with [m] imply: Mean value within tolerance
- For the backlash tolerance, the center distance tolerances and the tooth thickness deviation are taken into account. Shown is the maximal and the minimal backlash corresponding the largest resp. the smallest allowances
- The calculation is done for the operating pitch circle.
- Details of calculation method:
 - cg according to method B
 - KV according to method B
 - KHb, KFb according method C
 - KHa, KFb according to method B

_O.GroupBox.Shaft134p.Con.StraightSidedSpline_calc1

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

1-> Normally the force is absorbed in the middle of the notch.
a0 would then be the supporting length/2 = 25.00 mm.
Your entry is probably incorrect.

Straight-sided spline [M02b]

Calculation method: G.Niemann, Maschinenelemente I, 4th Edition, 2005.

Label	DIN ISO 14:1986 (Light series)	
Inner diameter (mm)	[d1]	62.00
External diameter (mm)	[d2]	72.00
Medium diameter (mm)	[dm]	67.00
Number of keys	[nK]	8.00
Width (mm)	[b]	12.00
Height of key (mm)	[h]	5.00
Supporting length (mm)	[ltr]	50.00
Length factor	[k1]	1.11
Participation factor (equivalent)	[kphibeq]	1.30
Participation factor (maximum load)	[kphibmax]	1.10
Nominal torque (Nm)	[Tnenn]	5806.70
Application factor	[KA]	1.00
Service torque (Nm)	[Teq]	5806.70
Maximum torque (Nm)	[Tmax]	5945.14
Number of load peaks	[NL]	1000
Torque curve: No alternating torque		
Load direction changing coefficient	[fw]	1.00
Manufacturing tolerances according to Niemann		H7

Shaft

Material	C45 (1)	
Type	Through hardened steel	
Treatment	unalloyed, through hardened	
Tensile strength (N/mm ²)	[Rm]	630.00 (d= 40- 100mm)
Yield point (N/mm ²)	[Rp]	370.00 (d= 40- 100mm)
Pressure stress (equiv. load) (N/mm ²)	[peq]	124.98
Pressure stress (maxim. load) (N/mm ²)	[pmax]	124.98
Support factor	[fs]	1.30
Load peak coefficient	[fL]	1.50
Hardness influence coefficient	[fH]	1.00
Permissible pressure (N/mm ²)	[pzuleq]	481.00
Permissible pressure (N/mm ²)	[pzulmax]	721.50
fw * pzul / peq		3.85
fL * pzul / pmax		5.77
Required safety		1.00
Minimal safety		3.85

Hub

Material	C45 (1)	
Type	Through hardened steel	
Treatment	unalloyed, through hardened	
Tensile strength (N/mm ²)	[Rm]	590.00 (d= 100- 250mm)
Yield point (N/mm ²)	[Rp]	345.00 (d= 100- 250mm)
Small external diameter (mm)	[D1]	100.00
Big external diameter (mm)	[D2]	100.00
Width of hub-part with D2 (mm)	[c]	50.00

Equivalent diameter hub (mm)	[D]	100.00
Distance a0 (mm)	[a0]	0.00
Pressure stress (equiv. load) (N/mm ²)	[peq]	124.98
Pressure stress (maxim. load) (N/mm ²)	[pmax]	124.98
Support factor	[fs]	1.50
Load peak coefficient	[fL]	1.50
Hardness influence coefficient	[fH]	1.00
Permissible pressure (N/mm ²)	[pzuleq]	517.50
Permissible pressure (N/mm ²)	[pzulmax]	776.25
fw * pzul / peq		4.14
fL * pzul / pmax		6.21
Required safety		1.00
Minimal safety		4.14

Remarks:

Pressure load: $p(eq,max) = k_{phib}(eq,max) \cdot k_1 \cdot T \cdot 2000 / (dm \cdot l_{tr} \cdot h \cdot z)$

Coefficient for load direction changes according to DIN 6892:2012/ fig. 7

$pzuleq = fs \cdot fH \cdot fw \cdot (Rm, Rp)$

$pzulmax = fs \cdot fH \cdot fL \cdot (Rm, Rp)$

(Rm:for brittle material; Rp:for ductile material)

_O.GroupBox.Shaft134p.Shaft1.CIn.FeatherKey_calc1

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

1-> DIN6892 Method C:
Method C is not accurate! Use method B!

Keys [M02a]

Calculation method: DIN 6892-C:2012

Label	DIN 6885.1:1968 Default	
Key width (mm)	[b]	28.00
Key height (mm)	[h]	16.00
Shaft diameter (mm)	[d]	100.00
Nominal torque (Nm)	[Tn]	1098.00
Application factor	[KA]	1.00
equivalent torque (Nm)	[Teq]	1098.00
Maximum torque (Nm)	[Tmax]	1098.00
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
equivalent circumferential stress (N)	[Feq]	21960.00
Maximal circumferential force (N)	[Fmax]	21960.00
Contact coefficient for equivalent surface pressure	[Kneq]	1.00
Contact coefficient for maximal surface pressure	[Knmax]	1.00
Friction factor	[KReq]	1.000
Friction factor	[KR]	1.000
Groove depth shaft (minimal value) (mm)	[t1]	10.00
Supporting key length (mm)	[ltr]	110.00
Supporting key height (mm)	[h-t1]	6.00
Pressure stress (N/mm ²)	[peq]	33.27
Pressure stress (N/mm ²)	[pmax]	33.27

Shaft

Material	C45 (1)		
Type	Through hardened steel		
Treatment	unalloyed, through hardened		
Tensile strength (N/mm ²)	[Rm]	590.00 (d= 100-	250mm)
Yield point (N/mm ²)	[Re]	345.00 (d= 100-	250mm)
Permissible surface pressure (N/mm ²)	[pzul]	310.50	
Load peak frequency coefficient	[fL]	1.50	
Safety against flow (fw * pzul / peq)	[SFeq]	9.33	
Safety against flow (fL * pzul / pmax)	[SFmax]	14.00	
Minimal safety	[SF]	9.33	

Hub

Material	C45 (1)		
Type	Through hardened steel		
Treatment	unalloyed, through hardened		
Tensile strength (N/mm ²)	[Rm]	630.00 (d= 40-	100mm)
Yield point (N/mm ²)	[Re]	370.00 (d= 40-	100mm)
Permissible surface pressure (N/mm ²)	[pzul]	333.00	
Load peak frequency coefficient	[fL]	1.50	
Safety against flow (fw * pzul / peq)	[SFeq]	10.01	
Safety against flow (fL * pzul / pmax)	[SFmax]	15.01	
Minimal safety	[SF]	10.01	

Key

Material	C45 (1)
Type	Through hardened steel
Treatment	unalloyed, through hardened
Tensile strength (N/mm ²)	[Rm] 650.00 (d= 16- 40mm)
Yield point (N/mm ²)	[Re] 430.00 (d= 16- 40mm)
Permissible surface pressure (N/mm ²)	[pzul] 387.00
Load peak frequency coefficient	[fL] 1.50
Safety against flow (fw * pzul / peq)	[SFeq] 11.63
Safety against flow (fL * pzul / pmax)	[SFmax] 17.45
Minimal safety	[SF] 11.63

Remarks:

Safety = Minimum (pzul/peq, fL*pzul/pmax)

Condition according to DIN 6892 Safety >= 1.0

Supporting key height: h - t1

_O.GroupBox.Shaft134p.Shaft1.c1.InvoluteSpline_calc1

SPLINED JOINTS DIN 5480:2006

Shaft DIN 5480 - W 78.00x2.00x38x8h
 Hub DIN 5480 - N 78.00x2.00x38x9H

Drawing or article number:
 Shaft: 0.000.0
 Hub: 0.000.0

1. TOOTH GEOMETRY AND MATERIAL

Normal module (mm)	[mn]	2.0000		
Nominal diameter DIN (mm)	[dB]	78.00		
Pressure angle at normal section (°)	[alfn]	30.000		
			----- SHAFT ----- HUB -----	
Number of teeth	[z]	38		-38
Helix angle at reference circle (°)	[beta]	0.0000		
Facewidth (mm)	[b]	16.00	16.00	
Hand of gear		Spur gear		

Material				
Gear 1:	C45 (1), Through hardened steel, unalloyed, through hardened ISO 6336-5 Figure 5/6 (MQ)			
Gear 2:	C45 (1), Through hardened steel, unalloyed, through hardened ISO 6336-5 Figure 5/6 (MQ)			
			----- SHAFT ----- HUB ----	
Surface hardness			HBW 186	HBW
186				

Gear reference profile	1 :			
Reference profile	DIN 5480:2006 0.55 / 0.16 / 0.45 Broaching			
Dedendum coefficient	[hfP*]	0.550		
Root radius factor	[rhofP*]	0.160 (rhofPmax*=0.810)		
Addendum coefficient	[haP*]	0.450		
Tip radius factor	[rhoaP*]	0.000		
Protuberance height coefficient	[hprP*]	0.000		
Protuberance angle	[alfprP]	0.000		
Tip form height coefficient	[hFaP*]	0.000		
Ramp angle	[alfKP]	0.000		
			not topping	

Gear reference profile	2 :			
Reference profile	DIN 5480:2006 0.55 / 0.16 / 0.45 Broaching			
Dedendum coefficient	[hfP*]	0.550		
Root radius factor	[rhofP*]	0.160 (rhofPmax*=0.810)		
Addendum coefficient	[haP*]	0.450		
Tip radius factor	[rhoaP*]	0.000		
Protuberance height coefficient	[hprP*]	0.000		
Protuberance angle	[alfprP]	0.000		
Tip form height coefficient	[hFaP*]	0.000		
Ramp angle	[alfKP]	0.000		
			not topping	

Summary of reference profile gears:			
Dedendum reference profile	[hfP*]	0.550	0.550
Tooth root radius Refer. profile	[rofP*]	0.160	0.160
Addendum Reference profile	[haP*]	0.450	0.450
Protuberance height coefficient	[hprP*]	0.000	0.000
Protuberance angle (°)	[alfprP]	0.000	0.000
Tip form height coefficient	[hFaP*]	0.000	0.000
Ramp angle (°)	[alfKP]	0.000	0.000

Transverse module (mm)	[mt]	2.000
Pressure angle at pitch circle (°)	[alft]	30.000
Base helix angle (°)	[betab]	0.000

	[Summexi]	0.0000	
		----- SHAFT -----	HUB -----
Profile shift coefficient	[x]	-0.0500	0.0500
Profile shift (x*m) (mm)	[x*m]	-0.1000	0.1000
Reference diameter (mm)	[d]	76.000	76.000
Base diameter (mm)	[db]	65.818	65.818
Tip diameter (mm)	[da]	77.600	74.000
Effective tip diameter (mm)	[da.e/i]	77.600 / 77.410	74.000 / 74.190
Tip diameter allowances (mm)	[Ada.e/i]	0.000 / -0.190	-0.000 / 0.190
Root diameter (mm)	[df]	73.600	78.000
Effective root diameters (mm)	[df.e/i]	73.565 / 73.503	78.052 / 78.139
Root diameter allowances (mm)	[Adf.e/i]	-0.035 / -0.097	0.052 / 0.139
Generating Profile shift coefficient	[xE.e/i]	-0.0587 / -0.0742	0.0370 / 0.0154
Root form diameter (mm)	[dFf]	74.008	77.663
Effective root form diameter (mm)	[dFf.e/i]	73.976 / 73.919	77.720 / 77.815
(dFf2 calculated with virtual pinion type cutter (circa): z=	25 x=	0.000	rhoaP0*=0.1)
Active tip diameter (mm)	[dNa.e/i]	77.600 / 77.410	74.000 / 74.190
Active root diameter (mm)	[dNf.e/i]	74.000 / 74.190	77.600 / 77.410
Tooth height (mm)	[h]	2.000	2.000
Theoretical tip clearance (mm)	[c]	0.200	0.200
Effective tip clearance (mm)	[c.e/i]	0.364 / 0.226	0.343 / 0.217
Normal tooth thickness at tip circle (mm)	[san]	2.118	2.094
(mm)	[san.e/i]	2.210 / 2.061	2.168 / 2.016
Normal space width at root circle (mm)	[efn]	1.880	1.876
(mm)	[efn.e/i]	1.881 / 1.884	1.875 / 1.873
Pitch on reference circle (mm)	[pt]		6.283
Base pitch (mm)	[pbt]		5.441
Transverse pitch on contact-path (mm)	[pet]		5.441

2. MEASUREMENTS FOR TOOTH THICKNESS

		----- SHAFT -----	HUB -----	
Accuracy grade		8		9
Tooth thickness tolerance		DIN 5480 h		DIN 5480 H
Number of teeth spanned	[k]	7.0000	7.0000	
Base tangent length (no backlash) (mm)	[Wk]	38.8069	38.8069	
Diameter of measuring circle (mm)	[dMWk.m]	76.4022	76.4132	
Theoretical diameter of ball/pin (mm)	[dm]	3.6985	3.5267	
Effective diameter of ball/pin (mm)	[DMeff]	3.7500	3.7500	
Theor. dimension over two balls (mm)	[MRe/Mri-ball]	81.5477	69.8721	
Diametral measurement over pins without clearance (mm)	[MRe/Mri-pin]	81.5477	69.8721	
Data for Actual Dimensions (DIN 5480:2006)				
Tooth thickness / Spacewidth (mm)	[Smax/Smin, Emax/Emin]	3.0061 / 2.9701	3.1061 / 3.0561	
Tooth thickness tolerance, normal section (mm)	[Tol.Smax/min]	-0.0200 / -0.0560		
Tooth space tolerance, normal section (mm)	[Tol.Emax/min]		0.0800 / 0.0300	
Base tangent length (mm)	[Wk.Smax/Smin]	38.7896 / 38.7584	38.8762 / 38.8329	
Diametral two ball measure (mm)	[MRe/Mri-ball]	81.5152 / 81.4566	70.0261 / 69.9300	
Diametral measurement over pins (mm)	[MRe/Mri-pin]	81.5152 / 81.4566	70.0261 / 69.9300	
Data for Effective Dimensions (DIN 5480:2006)				
Tooth thickness / Spacewidth (mm)	[Svmax/min, Evmax/min]	3.0261 / 3.0061	3.0561 / 3.0261	
Tooth thickness tolerance, normal section (mm)	[Tol.Svmax/min]	0.0000 / -0.0200		
Tooth space tolerance, normal section (mm)	[Tol.Evmax/min]		0.0300 / 0.0000	
Base tangent length (mm)	[Wk.Svmax/min]	(38.8069 / 38.7896)	(38.8329 / 38.8069)	
Diametral two ball measure (mm)	[MRe/Mri-ball] (	81.5477 / 81.5152)	(69.9300 / 69.8721)	
Diametral measurement over pins (mm)	[MRe/Mri-pin]	(81.5477 / 81.5152)	(69.9300 / 69.8721)	
Tolerance data DIN 5480-1 (mm)	[TG]	0.0560	0.0800	
(mm)	[Tact]	0.0360	0.0500	
(mm)	[Teff]	0.0200	0.0300	
Circumferential backlash (transverse section):				
-Theoretical (without form errors) (mm)	[jt.th]	0.1360 / 0.0500		
-Effective (with form errors) (mm)	[jt.eff]	0.0500 / 0.0000		
Normal backlash theoretical (mm)	[jn.th]	0.1178 / 0.0433		
Normal backlash (mm)	[jn.eff]	0.0433 / 0.0000		
Radial backlash (mm)	[jr.eff]	0.0421 / 0.0000		

Notice: When controlling splines with individual measurements (base tangent length/pin diameter) respect the values in 'Actual dimensions'.

3. GEAR ACCURACY

		----- SHAFT -----	HUB -----	
According to DIN 5480:2006:				
Accuracy grade	[Q-DIN5480]		8	9
Total profile deviation (µm)	[Fa]	19.0		25.0
Total helix deviation (µm)	[Fb]	10.0		13.0
Single pitch deviation (µm)	[fp]	15.0		21.0
Total cumulative pitch deviation (µm)	[Fp]	36.0		50.0
Runout (µm)	[Fr]	50.0		50.0

5. ADDITIONAL DATA

Moment of inertia (System referenced to wheel 1):				
calculation without consideration of the exact tooth shape				
single gears	((da+df)/2...di) (kg*m ²)	[TraeghMom]	0.0004001	0.0003946
System	((da+df)/2...di) (kg*m ²)	[TraeghMom]		0

6. MODIFICATIONS AND TOOTH FORM DEFINITION

Data for the tooth form calculation :
 Data not available.
 Please run the calculation in the "Tooth form" tab and open the main report again.

REMARKS:

- Specifications with [.e/i] imply: Maximum [e] and Minimal value [i] with consideration of all tolerances
- Specifications with [.m] imply: Mean value within tolerance

_O.GroupBox.Shaft134p.Shaft134p_calc

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

- 1-> The required service life of bearing 'Shaft 'Shaft1', Rolling bearing 'RollerBearing1" is not achieved!
- 2-> The required service life of bearing 'Shaft 'Shaft3', Rolling bearing 'RollerBearing18" is not achieved!
- 3-> The required service life of bearing 'Shaft 'Shaft4', Rolling bearing 'RollerBearing7" is not achieved!
- 4-> The required service life of bearing 'Rolling bearing 'ConnectionRollerBearing1' is not achieved!

Analysis of shafts, axle and beams

Input data

Coordinate system shaft: see picture W-002

Label	Shaft1
Drawing	
Initial position (mm)	555.500
Length (mm)	160.000
Speed (1/min)	1000.00
Sense of rotation: clockwise	

Material	C45 (1)
Young's modulus (N/mm ²)	206000.000
Poisson's ratio nu	0.300
Density (kg/m ³)	7830.000
Coefficient of thermal expansion (10 ⁻⁶ /K)	11.500
Temperature (°C)	20.000
Weight of shaft (kg)	4.066
Weight of shaft, including additional masses (kg)	4.066
Mass moment of inertia (kg*mm ²)	8049.555
Momentum of mass GD2 (Nm ²)	0.316

Label	Shaft3
Drawing	
Initial position (mm)	438.500
Length (mm)	160.000
Speed (1/min)	181.60
Sense of rotation: clockwise	

Material	C45 (1)
Young's modulus (N/mm ²)	206000.000
Poisson's ratio nu	0.300
Density (kg/m ³)	7830.000
Coefficient of thermal expansion (10 ⁻⁶ /K)	11.500
Temperature (°C)	20.000
Weight of shaft (kg)	13.167
Weight of shaft, including additional masses (kg)	13.167
Mass moment of inertia (kg*m ²)	0.096
Momentum of mass GD2 (Nm ²)	3.757

Label	Shaft4
Drawing	
Initial position (mm)	0.000
Length (mm)	368.000
Speed (1/min)	181.60
Sense of rotation: clockwise	

Material	C45 (1)
Young's modulus (N/mm ²)	206000.000
Poisson's ratio nu	0.300
Density (kg/m ³)	7830.000
Coefficient of thermal expansion (10 ⁻⁶ /K)	11.500
Temperature (°C)	20.000

Weight of shaft (kg)	26.139
Weight of shaft, including additional masses (kg)	26.139
Mass moment of inertia (kg*m ²)	0.045
Momentum of mass GD2 (Nm ²)	1.773

Label	presouv
Drawing	
Initial position (mm)	244.500
Length (mm)	263.000
Speed (1/min)	181.60
Sense of rotation: clockwise	

Material	C45 (1)
Young's modulus (N/mm ²)	206000.000
Poisson's ratio nu	0.300
Density (kg/m ³)	7830.000
Coefficient of thermal expansion (10 ⁻⁶ /K)	11.500
Temperature (°C)	20.000
Weight of shaft (kg)	11.335
Weight of shaft, including additional masses (kg)	11.335
Mass moment of inertia (kg*m ²)	0.011
Momentum of mass GD2 (Nm ²)	0.425

The direction of the weight is not considered
 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

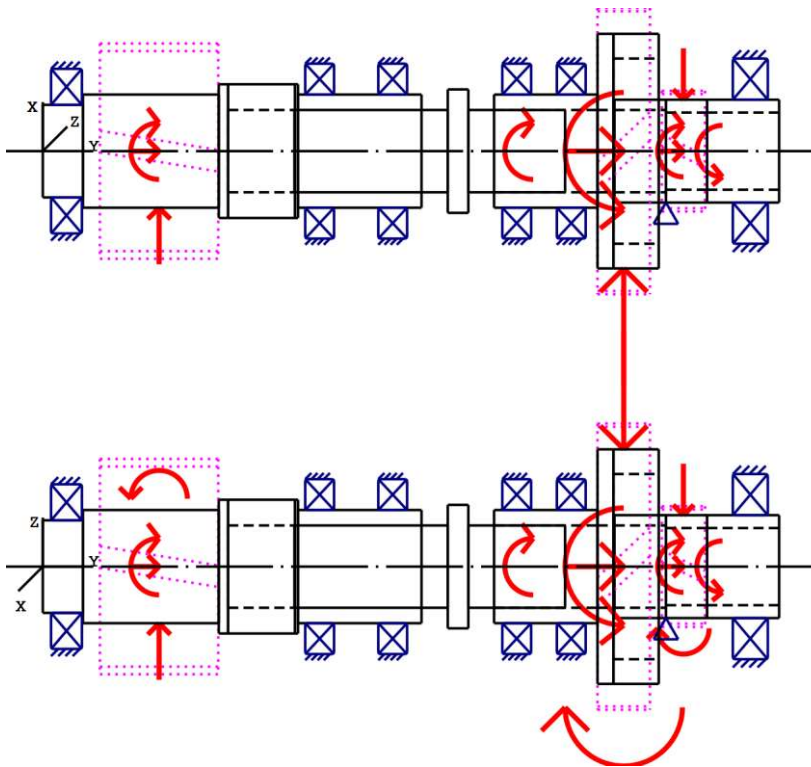


Figure: Load applications

Shaft definition (Shaft1)

Outer contour

Cylinder (Cylinder)			0.000mm ... 90.000mm
Diameter (mm)	[d]	100.0000	
Length (mm)	[l]	90.0000	
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000	

Cylinder (Cylinder)			90.000mm ...	160.000mm
Diameter (mm)	[d]	100.0000		
Length (mm)	[l]	70.0000		
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000		

Inner contour

Cylindrical bore (Cylindrical bore)			0.000mm ...	50.000mm
Diameter (mm)	[d]	80.0000		
Length (mm)	[l]	50.0000		
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000		

Cylindrical bore (Cylindrical bore)			50.000mm ...	160.000mm
Diameter (mm)	[d]	75.0000		
Length (mm)	[l]	110.0000		
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000		

Forces

Type of force element		Coupling
Label in the model		CIn(Boundary1)
Position on shaft (mm)	[Ylocal]	105.0000
Position in global system (mm)	[Yglobal]	660.5000
Effective diameter (mm)		55.0000
Radial force factor (-)		-0.0000
Direction of the radial force (°)		180.0000
Axial force factor (-)		-0.0000
Length of load application (mm)		110.0000
Power (kW)		114.9823 driven (input)
Torque (Nm)		1098.0000
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
Mass (kg)		0.0000
Mass moment of inertia Jp (kg*m ²)		0.0000
Mass moment of inertia Jxx (kg*m ²)		0.0000
Mass moment of inertia Jzz (kg*m ²)		0.0000
Eccentricity (mm)		0.0000

Type of force element		Coupling
Label in the model		c1(c1)
Position on shaft (mm)	[Ylocal]	15.0000
Position in global system (mm)	[Yglobal]	570.5000
Effective diameter (mm)		90.0000
Radial force factor (-)		-0.0000
Direction of the radial force (°)		180.0000
Axial force factor (-)		-0.0000
Length of load application (mm)		16.0000
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
Mass (kg)		0.0000
Mass moment of inertia Jp (kg*m ²)		0.0000
Mass moment of inertia Jxx (kg*m ²)		0.0000
Mass moment of inertia Jzz (kg*m ²)		0.0000
Eccentricity (mm)		0.0000

Type of force element		Cylindrical gear
Label in the model		z1
Position on shaft (mm)	[Ylocal]	67.0000
Position in global system (mm)	[Yglobal]	622.5000
Operating pitch diameter (mm)		117.3333
Helix angle (°)		20.0431 right
Working pressure angle at normal section (°)		20.3218
Position of contact (°)		90.0000
Length of load application (mm)		42.0000
Power (kW)		114.9823 driving (output)

Torque (Nm)	-1098.0000
Axial force (N)	6827.9658
Shearing force X (N)	-18715.9089
Shearing force Z (N)	-7378.1862
Bending moment X (Nm)	-400.5740
Bending moment Z (Nm)	0.0000

Bearing

Label in the model		RollerBearing1
Bearing type		SKF 6220
Bearing type		Deep groove ball bearing (single row)
		SKF EXPLORER
Bearing position (mm)	[ylocal]	132.000
Bearing position (mm)	[yglobal]	687.500
Attachment of external ring		Fixed bearing
Inner diameter (mm)	[d]	100.000
External diameter (mm)	[D]	180.000
Width (mm)	[b]	34.000
Corner radius (mm)	[r]	2.100
Number of rolling bodies	[Z]	10
Rolling body reference circle (mm)	[D _{pw}]	140.028
Diameter rolling body (mm)	[D _w]	25.798
Diameter, external race (mm)	[d _o]	165.838
Diameter, internal race (mm)	[d _i]	114.218
Radius of curvature, external race (mm)	[r _o]	13.673
Radius of curvature, internal race (mm)	[r _i]	13.415
Calculation with approximate bearings internal geometry (*)		
Bearing clearance		ISO 5753-1:2009 C0 (24.00 µm)
Axial clearance		Pe = 351.08 µm
Basic static load rating (kN)	[C ₀]	93.000
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	127.000
Fatigue load rating (kN)	[C _u]	3.400
Values for approximated geometry:		
Basic dynamic load rating (kN)	[C _{theo}]	124.885
Basic static load rating (kN)	[C _{0theo}]	95.276
Correction factor Basic dynamic load rating	[f _C]	1.000
Correction factor Basic static load rating	[f _{C0}]	1.000

Label in the model		Support2
Bearing type		Own Input
Bearing position (mm)	[ylocal]	50.000
Bearing position (mm)	[yglobal]	605.500
Degrees of freedom		
X: fixed Y: free Z: fixed		
Rx: free Ry: free Rz: free		

Shaft definition (Shaft3)

Outer contour

Cylinder (Cylinder)		0.000mm ... 100.500mm
Diameter (mm)	[d]	110.0000
Length (mm)	[l]	100.5000
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000
Cylinder (Cylinder)		100.500mm ... 160.000mm
Diameter (mm)	[d]	228.0000
Length (mm)	[l]	59.5000
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000

Inner contour

Cylindrical bore (Cylindrical bore)		0.000mm ... 116.000mm
Diameter (mm)	[d]	80.0000
Length (mm)	[l]	116.0000

Surface roughness (µm) [Rz] 8.0000

Cylindrical bore (Cylindrical bore) 116.000mm ... 160.000mm

Diameter (mm) [d] 180.0000
Length (mm) [l] 44.0000
Surface roughness (µm) [Rz] 8.0000

Forces

Type of force element		Coupling
Label in the model		c2(c2)
Position on shaft (mm)	[ylocal]	38.0000
Position in global system (mm)	[yglobal]	476.5000
Effective diameter (mm)		90.0000
Radial force factor (-)		-0.0000
Direction of the radial force (°)		180.0000
Axial force factor (-)		-0.0000
Length of load application (mm)		36.0000
Power (kW)		110.4290 driving (output)
Torque (Nm)		-5806.7031
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*m ²)		0.0000
Mass moment of inertia Jxx (kg*m ²)		0.0000
Mass moment of inertia Jzz (kg*m ²)		0.0000
Eccentricity (mm)		0.0000

Type of force element		Cylindrical gear
Label in the model		z4
Position on shaft (mm)	[ylocal]	126.0000
Position in global system (mm)	[yglobal]	564.5000
Operating pitch diameter (mm)		278.2609
Helix angle (°)		20.3932 left
Working pressure angle at normal section (°)		22.7316
Position of contact (°)		90.0000
Length of load application (mm)		51.0000
Power (kW)		110.4290 driven (input)
Torque (Nm)		5806.7031
Axial force (N)		15515.6987
Shearing force X (N)		41735.6782
Shearing force Z (N)		-18654.6481
Bending moment X (Nm)		-2158.7059
Bending moment Z (Nm)		0.0000

Bearing

Label in the model		RollerBearing18
Bearing type		Koyo 7022C FY
Bearing type		Angular contact ball bearing (single row)
Bearing position (mm)	[ylocal]	22.000
Bearing position (mm)	[yglobal]	460.500
Attachment of external ring		Set fixed bearing right
Inner diameter (mm)	[d]	110.000
External diameter (mm)	[D]	170.000
Width (mm)	[b]	28.000
Corner radius (mm)	[r]	2.000
Number of rolling bodies	[Z]	19
Rolling body reference circle (mm)	[Dpw]	140.000
Diameter rolling body (mm)	[Dw]	19.886
Distance a (mm)	[a]	32.800
Diameter, external race (mm)	[d _o]	159.920
Diameter, internal race (mm)	[d _i]	120.080
Radius of curvature, external race (mm)	[r _o]	10.539
Radius of curvature, internal race (mm)	[r _i]	10.341
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)
			3.2000
Basic static load rating (kN)	[C ₀]	101.000	
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	126.000	
Fatigue load rating (kN)	[C _u]	4.850	
Values for approximated geometry:			
Basic dynamic load rating (kN)	[C _{theo}]	115.190	
Basic static load rating (kN)	[C _{0theo}]	112.170	
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		Koyo 7022C FY	
Bearing type		Angular contact ball bearing (single row)	
Bearing position (mm)	[y _{lokal}]	75.000	
Bearing position (mm)	[y _{global}]	513.500	
Attachment of external ring		Set fixed bearing left	
Inner diameter (mm)	[d]	110.000	
External diameter (mm)	[D]	170.000	
Width (mm)	[b]	28.000	
Corner radius (mm)	[r]	2.000	
Number of rolling bodies	[Z]	19	
Rolling body reference circle (mm)	[D _{pw}]	140.000	
Diameter rolling body (mm)	[D _w]	19.886	
Distance a (mm)	[a]	32.800	
Diameter, external race (mm)	[d _o]	159.920	
Diameter, internal race (mm)	[d _i]	120.080	
Radius of curvature, external race (mm)	[r _o]	10.539	
Radius of curvature, internal race (mm)	[r _i]	10.341	
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)
			93.8000
Basic static load rating (kN)	[C ₀]	101.000	
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	126.000	
Fatigue load rating (kN)	[C _u]	4.850	
Values for approximated geometry:			
Basic dynamic load rating (kN)	[C _{theo}]	115.190	
Basic static load rating (kN)	[C _{0theo}]	112.170	
Correction factor Basic dynamic load rating	[f _C]	1.000	
Correction factor Basic static load rating	[f _{C0}]	1.000	

Shaft definition (Shaft4)

Outer contour

<u>Cylinder (Cylinder)</u>		0.000mm ...	39.000mm
Diameter (mm)	[d]	90.0000	
Length (mm)	[l]	39.0000	
Surface roughness (μm)	[Rz]	8.0000	

<u>Cylinder (Cylinder)</u>		39.000mm ...	171.000mm
Diameter (mm)	[d]	110.0000	
Length (mm)	[l]	132.0000	
Surface roughness (μm)	[Rz]	8.0000	

Radius right (Radius right)
r=2.00 (mm), Rz=8.0, Machined (Ra=3.2μm/125μin)

<u>Cylinder (Cylinder)</u>		171.000mm ...	248.000mm
----------------------------	--	---------------	-----------

Diameter (mm)	[d]	130.0000
Length (mm)	[l]	77.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000

Radius left (Radius left)
r=2.00 (mm), Rz=8.0, Machined (Ra=3.2µm/125µin)

Radius right (Radius right)
r=2.00 (mm), Rz=8.0, Machined (Ra=3.2µm/125µin)

Cylinder (Cylinder)			248.000mm ...	368.000mm
Diameter (mm)	[d]	110.0000		
Length (mm)	[l]	120.0000		
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000		

Inner contour

Cylindrical bore (Cylindrical bore)			0.000mm ...	180.000mm
Diameter (mm)	[d]	0.0000		
Length (mm)	[l]	180.0000		
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000		

Cylindrical bore (Cylindrical bore)			180.000mm ...	245.000mm
Diameter (mm)	[d]	80.0000		
Length (mm)	[l]	65.0000		
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000		

Forces

Type of force element		Cylindrical gear
Label in the model		z5
Position on shaft (mm)	[ylocal]	113.0000
Position in global system (mm)	[yglobal]	113.0000
Operating pitch diameter (mm)		209.2308
Helix angle (°)		10.2962 right
Working pressure angle at normal section (°)		24.0856
Position of contact (°)		-90.0000
Length of load application (mm)		115.0000
Power (kW)		110.4290 driving (output)
Torque (Nm)		-5806.7031
Axial force (N)		10083.2342
Shearing force X (N)		55505.2497
Shearing force Z (N)		25218.0507
Bending moment X (Nm)		1054.8614
Bending moment Z (Nm)		0.0000

Bearing

Label in the model		RollerBearing17
Bearing type		Koyo 7022C FY
Bearing type		Angular contact ball bearing (single row)
Bearing position (mm)	[ylocal]	340.000
Bearing position (mm)	[yglobal]	340.000
Attachment of external ring		Set fixed bearing left
Inner diameter (mm)	[d]	110.000
External diameter (mm)	[D]	170.000
Width (mm)	[b]	28.000
Corner radius (mm)	[r]	2.000
Number of rolling bodies	[Z]	19
Rolling body reference circle (mm)	[D _{pw}]	140.000
Diameter rolling body (mm)	[D _w]	19.886
Distance a (mm)	[a]	32.800
Diameter, external race (mm)	[d _o]	159.920
Diameter, internal race (mm)	[d _i]	120.080
Radius of curvature, external race (mm)	[r _o]	10.539
Radius of curvature, internal race (mm)	[r _i]	10.341
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)
			358.8000
Basic static load rating (kN)	[C ₀]	101.000	
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	126.000	
Fatigue load rating (kN)	[C _u]	4.850	
Values for approximated geometry:			
Basic dynamic load rating (kN)	[C _{theo}]	115.190	
Basic static load rating (kN)	[C _{0theo}]	112.170	
Correction factor Basic dynamic load rating	[f _C]	1.000	
Correction factor Basic static load rating	[f _{C0}]	1.000	

Label in the model		RollerBearing7
Bearing type		Koyo 7022C FY
Bearing type		Angular contact ball bearing (single row)
Bearing position (mm)	[y _{lokal}]	269.000
Bearing position (mm)	[y _{global}]	269.000
Attachment of external ring		Set fixed bearing right
Inner diameter (mm)	[d]	110.000
External diameter (mm)	[D]	170.000
Width (mm)	[b]	28.000
Corner radius (mm)	[r]	2.000
Number of rolling bodies	[Z]	19
Rolling body reference circle (mm)	[D _{pw}]	140.000
Diameter rolling body (mm)	[D _w]	19.886
Distance a (mm)	[a]	32.800
Diameter, external race (mm)	[d _o]	159.920
Diameter, internal race (mm)	[d _i]	120.080
Radius of curvature, external race (mm)	[r _o]	10.539
Radius of curvature, internal race (mm)	[r _i]	10.341

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)
			250.2000
Basic static load rating (kN)	[C ₀]	101.000	
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	126.000	
Fatigue load rating (kN)	[C _u]	4.850	
Values for approximated geometry:			
Basic dynamic load rating (kN)	[C _{theo}]	115.190	
Basic static load rating (kN)	[C _{0theo}]	112.170	
Correction factor Basic dynamic load rating	[f _C]	1.000	
Correction factor Basic static load rating	[f _{C0}]	1.000	

Label in the model		RollerBearing70
Bearing type		SKF N 218 ECP
Bearing type		Cylindrical roller bearing (single row)
		SKF EXPLORER
Bearing position (mm)	[y _{lokal}]	23.000
Bearing position (mm)	[y _{global}]	23.000
Attachment of external ring		Free bearing
Inner diameter (mm)	[d]	90.000
External diameter (mm)	[D]	160.000
Width (mm)	[b]	30.000
Corner radius (mm)	[r]	2.000
Number of rolling bodies	[Z]	9
Rolling body reference circle (mm)	[D _{pw}]	120.825
Diameter rolling body (mm)	[D _w]	23.327
Rolling body length (mm)	[L _{wel}]	29.509
Diameter, external race (mm)	[d _o]	144.185
Diameter, internal race (mm)	[d _i]	97.465

Bearing clearance		ISO 5753-1:2009 C0 (67.50 µm)
Basic static load rating (kN)	[C ₀]	220.000
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	208.000
Fatigue load rating (kN)	[C _u]	27.000
Values for approximated geometry:		
Basic dynamic load rating (kN)	[C _{theo}]	207.880
Basic static load rating (kN)	[C _{0theo}]	219.961
Correction factor Basic dynamic load rating	[f _C]	1.000
Correction factor Basic static load rating	[f _{C0}]	1.000

Shaft definition (presouv)

Outer contour

<u>Cylinder (Cylinder)</u>			0.000mm ...	149.000mm
Diameter (mm)	[d]	80.0000		
Length (mm)	[l]	149.0000		
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000		
<u>Cylinder (Cylinder)</u>			149.000mm ...	169.000mm
Diameter (mm)	[d]	120.0000		
Length (mm)	[l]	20.0000		
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000		
<u>Cylinder (Cylinder)</u>			169.000mm ...	263.000mm
Diameter (mm)	[d]	80.0000		
Length (mm)	[l]	94.0000		
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000		

Forces

Type of force element		Coupling
Label in the model		c12(c1)
Position on shaft (mm)	[y _{local}]	292.0000
Position in global system (mm)	[y _{global}]	536.5000
Effective diameter (mm)		90.0000
Radial force factor (-)		-0.0000
Direction of the radial force (°)		180.0000
Axial force factor (-)		-0.0000
Length of load application (mm)		36.0000
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
Mass (kg)		0.0000
Mass moment of inertia J _p (kg*m ²)		0.0000
Mass moment of inertia J _{xx} (kg*m ²)		0.0000
Mass moment of inertia J _{zz} (kg*m ²)		0.0000
Eccentricity (mm)		0.0000
Type of force element		Coupling
Label in the model		c12(c2)
Position on shaft (mm)	[y _{local}]	292.0000
Position in global system (mm)	[y _{global}]	536.5000
Effective diameter (mm)		90.0000
Radial force factor (-)		-0.0000
Direction of the radial force (°)		180.0000
Axial force factor (-)		-0.0000
Length of load application (mm)		36.0000
Power (kW)		110.4290 driven (input)
Torque (Nm)		5806.7031
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*m ²)	0.0000
Mass moment of inertia Jxx (kg*m ²)	0.0000
Mass moment of inertia Jzz (kg*m ²)	0.0000
Eccentricity (mm)	0.0000

CONNECTIONS

(Con) 301.500mm

Degrees of freedom
X: fixed Y: / double direction (u0=20.00 µm, u1=20.00 µm) Z: fixed
Rx: fixed Ry: fixed Rz: fixed

SKF N 220 ECP (ConnectionRollerBearing1) 574.500mm

Shaft 'Shaft1' <-> Shaft 'Shaft3'

Free bearing

d = 100.000 (mm), D = 180.000 (mm), b = 34.000 (mm), r = 2.100 (mm)

C = 285.000 (kN), C0 = 305.000 (kN), Cu = 36.500 (kN)

Ctheo = 284.802 (kN), C0theo = 304.934 (kN)

fC = 1.000 (kN), fC0 = 1.000 (kN)

Calculation with approximate bearings internal geometry (*)

Z = 10, Dpw = 135.324 (mm), Dw = 27.906 (mm)

Lwe = 31.287 (mm)

Diameter, external race (mm) [d_o] 163.263

Diameter, internal race (mm) [d_i] 107.385

Bearing clearance ISO 5753-1:2009 C0 (67.50 µm)

Results

Shaft

Maximum deflection 126.226 (µm) (Shaft3 pos = 598.500 mm)

Mass center of gravity

Shaft1 (mm)	83.223
Shaft3 (mm)	104.705
Shaft4 (mm)	189.466
presouv (mm)	133.887

Total axial load

Shaft1 (N)	6827.966
Shaft3 (N)	15515.699
Shaft4 (N)	10083.234
presouv (N)	0.000

Torsion under torque

Shaft1 (°)	0.004
Shaft3 (°)	0.026
Shaft4 (°)	0.046
presouv (°)	0.198

Bearing

Probability of failure	[n]	10.00	%
Axial clearance	[u _A]	10.00	µm
Lubricant	Oil: ISO-VG 220		
Lubricant - service temperature	[T _B]	70.00	°C
Rolling bearing stiffness calculated from internal geometry			

Shaft 'Shaft1' Rolling bearing 'RollerBearing1'

Position (Y-coordinate)	[y]	132.00	mm
Dynamic equivalent load	[P]	20.54	kN
Equivalent load	[P ₀]	17.72	kN
Life modification factor for reliability[a ₁]		1.000	
Basic bearing rating life	[L _{nh}]	3942.37	h
Operating viscosity	[v]	48.88	mm ² /s
Minimum EHL lubricant film thickness	[h _{min}]	0.295	µm

Spin to roll ratio	[ω_s/ω_{roll}]	0.088	
Static safety factor	[S ₀]	5.25	
Operating bearing clearance	[Pd]	24.000	µm
Reference rating service life	[L _{nrh}]	5470.81	h
Bearing reaction force	[Fx]	17.390	kN
Bearing reaction force	[Fy]	-6.824	kN
Bearing reaction force	[Fz]	-3.398	kN
Bearing reaction force	[Fr]	17.719	kN (-11.06°)
Bearing reaction moment	[Mx]	51.79	Nm
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm
Bearing reaction moment	[Mz]	267.56	Nm
Bearing reaction moment	[Mr]	272.53	Nm (79.05°)
Oil level	[H]	0.000	mm
Load-independent moment of friction	[M ₀]	0.734	Nm
Load-dependent moment of friction	[M ₁]	1.141	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}]	1.875	Nm
Power loss	[P _{loss}]	196.322	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.			
Displacement of bearing	[u _x]	-39.012	µm
Displacement of bearing	[u _y]	325.789	µm
Displacement of bearing	[u _z]	7.787	µm
Displacement of bearing	[u _r]	39.781	µm (168.71°)
Misalignment of bearing	[r _x]	0.111	mrad (0.38')
Misalignment of bearing	[r _y]	0.071	mrad (0.24')
Misalignment of bearing	[r _z]	0.519	mrad (1.78')
Misalignment of bearing	[r _r]	0.530	mrad (1.82')

Shaft 'Shaft1' Bearing 'Support2'

Position (Y-coordinate)	[y]	50.00	mm
Bearing reaction force	[Fx]	-28.780	kN
Bearing reaction force	[Fy]	0.000	kN
Bearing reaction force	[Fz]	37.498	kN
Bearing reaction force	[Fr]	47.269	kN (127.51°)
Displacement of bearing	[u _x]	0.000	µm
Displacement of bearing	[u _y]	326.414	µm
Displacement of bearing	[u _z]	-0.000	µm
Displacement of bearing	[u _r]	0.000	µm
Misalignment of bearing	[r _x]	0.133	mrad (0.46')
Misalignment of bearing	[r _y]	0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r _z]	0.565	mrad (1.94')
Misalignment of bearing	[r _r]	0.581	mrad (2')

Shaft 'Shaft3' Rolling bearing 'RollerBearing18'

Position (Y-coordinate)	[y]	22.00	mm
Dynamic equivalent load	[P]	26.98	kN
Equivalent load	[P ₀]	16.28	kN
Life modification factor for reliability[a ₁]		1.000	
Basic bearing rating life	[L _{nh}]	9346.09	h
Operating viscosity	[v]	48.88	mm ² /s
Minimum EHL lubricant film thickness	[h _{min}]	0.087	µm
Spin to roll ratio	[ω_s/ω_{roll}]	0.101	
Static safety factor	[S ₀]	6.20	
Operating bearing clearance	[Pd]	0.000	µm
Reference rating service life	[L _{nrh}]	13805.13	h
Bearing reaction force	[Fx]	-0.479	kN
Bearing reaction force	[Fy]	-18.563	kN
Bearing reaction force	[Fz]	-15.474	kN
Bearing reaction force	[Fr]	15.482	kN (-91.77°)
Bearing reaction moment	[Mx]	476.82	Nm
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm
Bearing reaction moment	[Mz]	67.42	Nm
Bearing reaction moment	[Mr]	481.56	Nm (8.05°)
Oil level	[H]	0.000	mm
Load-independent moment of friction	[M ₀]	0.235	Nm
Load-dependent moment of friction	[M ₁]	1.304	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}]	1.540 Nm
Power loss	[P _{loss}]	29.280 W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.		
Displacement of bearing	[u _x]	15.399 μm
Displacement of bearing	[u _y]	103.934 μm
Displacement of bearing	[u _z]	1.091 μm
Displacement of bearing	[u _r]	15.437 μm (4.05°)
Misalignment of bearing	[r _x]	-0.570 mrad (-1.96')
Misalignment of bearing	[r _y]	0.000 mrad (0')
Misalignment of bearing	[r _z]	-0.577 mrad (-1.99')
Misalignment of bearing	[r _r]	0.811 mrad (2.79')

Shaft 'Shaft3' Rolling bearing 'RollerBearing6'

Position (Y-coordinate)	[y]	75.00	mm
Dynamic equivalent load	[P]	13.39	kN
Equivalent load	[P ₀]	13.39	kN
Life modification factor for reliability[a ₁]		1.000	
Basic bearing rating life	[L _{nh}]	76541.55	h
Operating viscosity	[ν]	48.88	mm ² /s
Minimum EHL lubricant film thickness	[h _{min}]	0.088	μm
Spin to roll ratio	[ω _s /ω _{roll}]	0.051	
Static safety factor	[S ₀]	7.55	
Operating bearing clearance	[Pd]	0.000	μm
Reference rating service life	[L _{nrh}]	61801.58	h
Bearing reaction force	[F _x]	-11.150	kN
Bearing reaction force	[F _y]	3.049	kN
Bearing reaction force	[F _z]	7.407	kN
Bearing reaction force	[F _r]	13.386	kN (146.4°)
Bearing reaction moment	[M _x]	107.66	Nm
Bearing reaction moment	[M _y]	0.00	Nm
Bearing reaction moment	[M _z]	156.92	Nm
Bearing reaction moment	[M _r]	190.30	Nm (55.55°)
Oil level	[H]	0.000	mm
Load-independent moment of friction	[M ₀]	0.235	Nm
Load-dependent moment of friction	[M ₁]	0.962	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}]	1.197	Nm
Power loss	[P _{loss}]	22.768	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.			
Displacement of bearing	[u _x]	46.159	μm
Displacement of bearing	[u _y]	105.001	μm
Displacement of bearing	[u _z]	-27.555	μm
Displacement of bearing	[u _r]	53.758	μm (-30.84°)
Misalignment of bearing	[r _x]	-0.614	mrad (-2.11')
Misalignment of bearing	[r _y]	0.262	mrad (0.9')
Misalignment of bearing	[r _z]	-0.580	mrad (-1.99')
Misalignment of bearing	[r _r]	0.845	mrad (2.9')

Shaft 'Shaft4' Rolling bearing 'RollerBearing17'

Position (Y-coordinate)	[y]	340.00	mm
Dynamic equivalent load	[P]	1.26	kN
Equivalent load	[P ₀]	1.26	kN
Life modification factor for reliability[a ₁]		1.000	
Basic bearing rating life	[L _{nh}]	> 1000000	h
Operating viscosity	[ν]	48.88	mm ² /s
Minimum EHL lubricant film thickness	[h _{min}]	0.104	μm
Spin to roll ratio	[ω _s /ω _{roll}]	0.055	
Static safety factor	[S ₀]	79.84	
Operating bearing clearance	[Pd]	0.000	μm
Reference rating service life	[L _{nrh}]	> 1000000	h
Bearing reaction force	[F _x]	-0.626	kN
Bearing reaction force	[F _y]	0.285	kN
Bearing reaction force	[F _z]	-1.099	kN

Bearing reaction force	[Fr]	1.265	kN (-119.64°)
Bearing reaction moment	[Mx]	-16.02	Nm
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm
Bearing reaction moment	[Mz]	8.87	Nm
Bearing reaction moment	[Mr]	18.31	Nm (151.04°)
Oil level	[H]	0.000	mm
Load-independent moment of friction	[M ₀]	0.235	Nm
Load-dependent moment of friction	[M ₁]	0.042	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}]	0.277	Nm
Power loss	[P _{loss}]	5.268	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.			
Displacement of bearing	[u _x]	13.757	µm
Displacement of bearing	[u _y]	42.698	µm
Displacement of bearing	[u _z]	18.244	µm
Displacement of bearing	[u _r]	22.850	µm (52.98°)
Misalignment of bearing	[r _x]	-0.058	mrad (-0.2')
Misalignment of bearing	[r _y]	0.798	mrad (2.74')
Misalignment of bearing	[r _z]	0.265	mrad (0.91')
Misalignment of bearing	[r _r]	0.271	mrad (0.93')

Shaft 'Shaft4' Rolling bearing 'RollerBearing7'

Position (Y-coordinate)	[y]	269.00	mm
Dynamic equivalent load	[P]	25.15	kN
Equivalent load	[P ₀]	25.15	kN
Life modification factor for reliability[a ₁]		1.000	
Basic bearing rating life	[L _{nh}]	11536.64	h
Operating viscosity	[v]	48.88	mm ² /s
Minimum EHL lubricant film thickness	[h _{min}]	0.086	µm
Spin to roll ratio	[ω _s /ω _{roll}]	0.077	
Static safety factor	[S ₀]	4.02	
Operating bearing clearance	[Pd]	0.000	µm
Reference rating service life	[L _{nrh}]	12084.50	h
Bearing reaction force	[Fx]	-21.412	kN
Bearing reaction force	[Fy]	-10.367	kN
Bearing reaction force	[Fz]	-13.197	kN
Bearing reaction force	[Fr]	25.153	kN (-148.35°)
Bearing reaction moment	[Mx]	287.42	Nm
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm
Bearing reaction moment	[Mz]	-477.09	Nm
Bearing reaction moment	[Mr]	556.98	Nm (-58.93°)
Oil level	[H]	0.000	mm
Load-independent moment of friction	[M ₀]	0.235	Nm
Load-dependent moment of friction	[M ₁]	2.226	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}]	2.461	Nm
Power loss	[P _{loss}]	46.803	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.			
Displacement of bearing	[u _x]	32.602	µm
Displacement of bearing	[u _y]	42.688	µm
Displacement of bearing	[u _z]	22.412	µm
Displacement of bearing	[u _r]	39.562	µm (34.51°)
Misalignment of bearing	[r _x]	-0.055	mrad (-0.19')
Misalignment of bearing	[r _y]	0.633	mrad (2.17')
Misalignment of bearing	[r _z]	0.264	mrad (0.91')
Misalignment of bearing	[r _r]	0.269	mrad (0.93')

Shaft 'Shaft4' Rolling bearing 'RollerBearing70'

Position (Y-coordinate)	[y]	23.00	mm
Dynamic equivalent load	[P]	35.20	kN
Equivalent load	[P ₀]	35.20	kN
Life modification factor for reliability[a ₁]		1.000	
Basic bearing rating life	[L _{nh}]	34223.71	h
Operating viscosity	[v]	48.88	mm ² /s

Minimum EHL lubricant film thickness	[h _{min}]	0.084	µm
Static safety factor	[S ₀]	6.25	
Operating bearing clearance	[Pd]	67.500	µm
Reference rating service life	[L _{nrh}]	70975.62	h
Bearing reaction force	[F _x]	-33.466	kN
Bearing reaction force	[F _y]	0.000	kN
Bearing reaction force	[F _z]	-10.921	kN
Bearing reaction force	[F _r]	35.203	kN (-161.93°)
Bearing reaction moment	[M _x]	-0.69	Nm
Bearing reaction moment	[M _y]	0.00	Nm
Bearing reaction moment	[M _z]	-2.12	Nm
Bearing reaction moment	[M _r]	2.23	Nm (-107.93°)
Oil level	[H]	0.000	mm
Load-independent moment of friction	[M ₀]	0.167	Nm
Load-dependent moment of friction	[M ₁]	1.320	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}]	1.488	Nm
Power loss	[P _{loss}]	28.290	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.			
Displacement of bearing	[u _x]	79.355	µm
Displacement of bearing	[u _y]	43.525	µm
Displacement of bearing	[u _z]	26.568	µm
Displacement of bearing	[u _r]	83.684	µm (18.51°)
Misalignment of bearing	[r _x]	0.049	mrad (0.17')
Misalignment of bearing	[r _y]	0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r _z]	0.072	mrad (0.25')
Misalignment of bearing	[r _r]	0.087	mrad (0.3')

Bearing 'Con'

Position (Y-coordinate)	[y]	301.50	mm
Bearing reaction force	[F _x]	-0.000	kN
Bearing reaction force	[F _y]	-0.000	kN
Bearing reaction force	[F _z]	-0.000	kN
Bearing reaction force	[F _r]	0.000	kN (-102.75°)
Bearing reaction moment	[M _x]	-0.01	Nm
Bearing reaction moment	[M _y]	5806.70	Nm
Bearing reaction moment	[M _z]	-0.04	Nm
Bearing reaction moment	[M _r]	0.04	Nm (-100.26°)
Displacement of bearing	[u _x]	0.000	µm
Displacement of bearing	[u _y]	20.000	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')

Rolling bearing 'ConnectionRollerBearing1'

Position (Y-coordinate)	[y]	574.50	mm
Dynamic equivalent load	[P]	40.25	kN
Equivalent load	[P ₀]	40.25	kN
Life modification factor for reliability[a ₁]		1.000	
Basic bearing rating life	[L _{nh}]	13878.20	h
Operating viscosity	[v]	48.88	mm ² /s
Minimum EHL lubricant film thickness	[h _{min}]	0.276	µm
Static safety factor	[S ₀]	7.58	
Operating bearing clearance	[Pd]	67.500	µm
Reference rating service life	[L _{nrh}]	24988.48	h
Bearing reaction force	[F _x]	30.106	kN
Bearing reaction force	[F _y]	0.000	kN
Bearing reaction force	[F _z]	-26.721	kN
Bearing reaction force	[F _r]	40.254	kN (-41.59°)
Bearing reaction moment	[M _x]	-75.38	Nm
Bearing reaction moment	[M _y]	0.00	Nm
Bearing reaction moment	[M _z]	-92.97	Nm
Bearing reaction moment	[M _r]	119.69	Nm (-129.04°)

Oil level	[H]	0.000	mm
Load-independent moment of friction	[M ₀]	0.642	Nm
Load-dependent moment of friction	[M ₁]	1.691	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}]	2.333	Nm
Power loss	[P _{loss}]	199.911	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.			
Displacement of bearing	[u _x]	-59.882	µm
Displacement of bearing	[u _y]	220.909	µm
Displacement of bearing	[u _z]	57.162	µm
Displacement of bearing	[u _r]	82.785	µm (136.33°)
Misalignment of bearing	[r _x]	0.803	mrاد (2.76')
Misalignment of bearing	[r _y]	-0.451	mrاد (-1.55')
Misalignment of bearing	[r _z]	1.166	mrاد (4.01')
Misalignment of bearing	[r _r]	1.416	mrاد (4.87')

(*) Note about roller bearings with an approximated bearing geometry:
The internal geometry of these bearings has not been input in the database.
The geometry is back-calculated as specified in ISO 281, from C and C0 (details in the manufacturer's catalog).
For this reason, the geometry may be different from the actual geometry.
In some situations, this may result in significant variations in roller bearing stiffness.

Damage (%)								[Lreq] (14000.000)
Bin no	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	
1		355.12	149.80	18.29	1.40	121.35	40.91	100.88
Σ	355.12	149.80	18.29	1.40	121.35	40.91	100.88	

Utilization (%)								[Lreq] (14000.000)
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7		
152.57	114.42	56.76	24.10	106.66	76.48	100.26		

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

- B 1: RollerBearing1
- B 2: RollerBearing18
- B 3: RollerBearing6
- B 4: RollerBearing17
- B 5: RollerBearing7
- B 6: RollerBearing70
- B 7: ConnectionRollerBearing1 (Connecting rolling bearing)

Shaft '

Shaft1', Dokumentationspunkt Documentation point

Y position (mm)	[y]	0.00
Equivalent stress (N/mm ²)	[σ _v]	0.00
Equivalent stress (Tresca) (N/mm ²)	[σ _v]	0.00
Bending Stress (N/mm ²)	[σ _b]	0.00
Normal stress (N/mm ²)	[σ _{zd}]	0.00
Shear stress (torsion) (N/mm ²)	[τ _T]	0.00
Shear stress (shearing force) (N/mm ²)	[τ _Q]	0.00

	X	Y	Z	R
Displacement (mm)	0.0336	0.3264	-0.0115	0.0355
Rotation (mrad)	0.1508	0.0000	0.5849	0.6040
Force (kN)	-0.0002	0.0041	0.0000	0.0002
Torque (Nm)	0.0915	-0.0000	0.1007	0.0915

Shaft '

Shaft1', Dokumentationspunkt Documentation point

Y position (mm)	[y]	20.00
Equivalent stress (N/mm ²)	[σ _v]	48.94
Equivalent stress (Tresca) (N/mm ²)	[σ _v]	56.50
Bending Stress (N/mm ²)	[σ _b]	1.37
Normal stress (N/mm ²)	[σ _{zd}]	0.00
Shear stress (torsion) (N/mm ²)	[τ _T]	0.00
Shear stress (shearing force) (N/mm ²)	[τ _Q]	28.24

X	Y	Z	R
---	---	---	---

Displacement (mm)	0.0218	0.3264	-0.0083	0.0233
Rotation (mrad)	0.1509	-0.0000	0.5850	0.6041
Force (kN)	-30.1064	0.0041	26.7211	40.2543
Torque (Nm)	48.7524	-0.0000	62.9640	48.7524

Shaft ' Shaft3'

Shaft3', Dokumentationspunkt Documentation point

Y position (mm)	[y]	20.00
Equivalent stress (N/mm ²)	[σ _V]	0.00
Equivalent stress (Tresca) (N/mm ²)	[σ _V]	0.00
Bending Stress (N/mm ²)	[σ _b]	0.00
Normal stress (N/mm ²)	[σ _{zd}]	0.00
Shear stress (torsion) (N/mm ²)	[τ _T]	0.00
Shear stress (shearing force) (N/mm ²)	[τ _Q]	0.00

	X	Y	Z	R
Displacement (mm)	0.0142	0.1039	0.0022	0.0144
Rotation (mrad)	-0.5698	0.0000	-0.5774	0.8113
Force (kN)	0.0008	0.0013	-0.0006	0.0010
Torque (Nm)	-0.1507	0.0000	-0.1600	0.1507

Shaft ' Shaft4'

Shaft4', Dokumentationspunkt Documentation point

Y position (mm)	[y]	20.00
Equivalent stress (N/mm ²)	[σ _V]	0.00
Equivalent stress (Tresca) (N/mm ²)	[σ _V]	0.00
Bending Stress (N/mm ²)	[σ _b]	0.00
Normal stress (N/mm ²)	[σ _{zd}]	0.00
Shear stress (torsion) (N/mm ²)	[τ _T]	0.00
Shear stress (shearing force) (N/mm ²)	[τ _Q]	0.00

	X	Y	Z	R
Displacement (mm)	0.0796	0.0435	0.0264	0.0838
Rotation (mrad)	0.0489	0.0000	0.0719	0.0870
Force (kN)	0.0007	0.0005	0.0004	0.0008
Torque (Nm)	0.0543	0.0000	-0.0819	0.0543

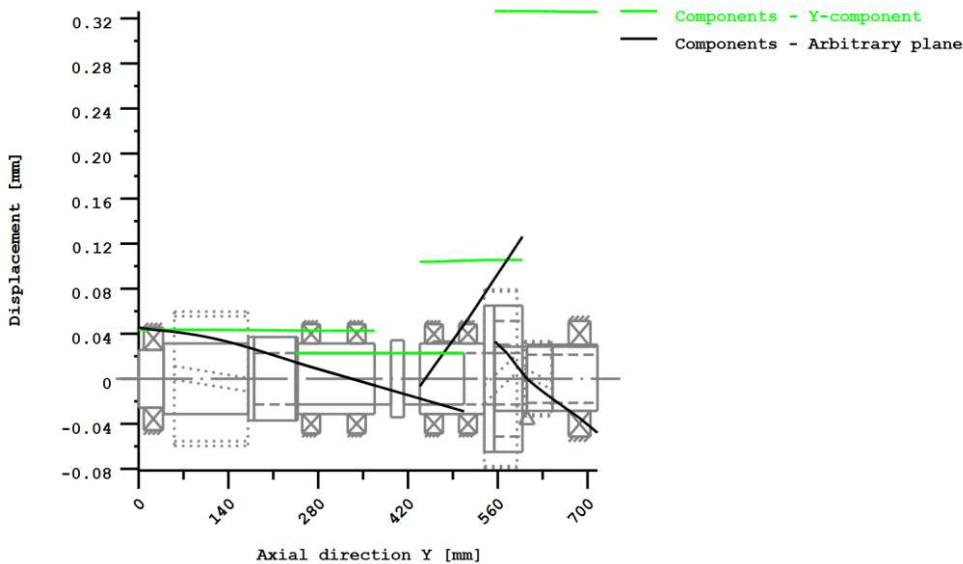
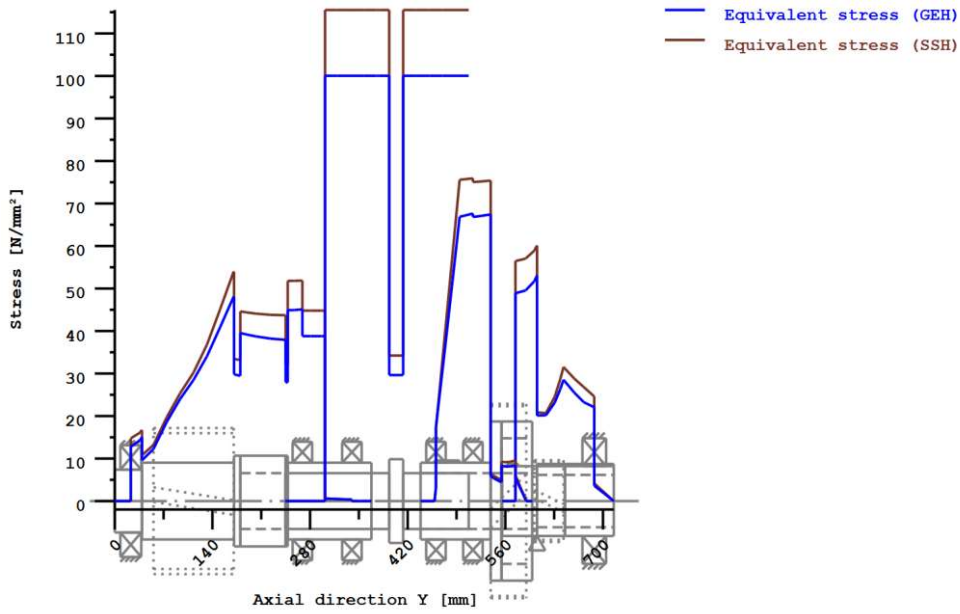


Figure: Deformation (bending etc.) (Arbitrary plane 319.820218 121)



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

Figure: Equivalent stress

_O.GroupBox.Shaft134p.Shaft3.c2.InvoluteSpline_calc2

SPLINED JOINTS DIN 5480:2006

Shaft DIN 5480 - W 78.00x2.00x38x8h
Hub DIN 5480 - N 78.00x2.00x38x9H

Drawing or article number:
Shaft: 0.000.0
Hub: 0.000.0

1. TOOTH GEOMETRY AND MATERIAL

Normal module (mm)	[mn]	2.0000	
Nominal diameter DIN (mm)	[dB]	78.00	
Pressure angle at normal section (°)	[alfn]	30.000	
		----- SHAFT ----- HUB -----	
Number of teeth	[z]	38	-38
Helix angle at reference circle (°)	[beta]	0.0000	
Facewidth (mm)	[b]	36.00	36.00
Hand of gear		Spur gear	

Material			
Gear 1:	20NiCrMoS6-4, Case-carburized steel, case-hardened		
	ISO 6336-5 Figure 9/10 (MQ), Core hardness >=25HRC Jominy J=12mm<HRC28		
Gear 2:	20NiCrMoS6-4, Case-carburized steel, case-hardened		
	ISO 6336-5 Figure 9/10 (MQ), Core hardness >=25HRC Jominy J=12mm<HRC28		
		----- SHAFT ----- HUB ----	
Surface hardness		HRC 60	HRC
60			

Gear reference profile	1 :		
Reference profile	DIN 5480:2006 0.55 / 0.16 / 0.45 Broaching		
Dedendum coefficient	[hfP*]	0.550	
Root radius factor	[rhofP*]	0.160 (rhofPmax*=0.810)	
Addendum coefficient	[haP*]	0.450	
Tip radius factor	[rhoaP*]	0.000	
Protuberance height coefficient	[hprP*]	0.000	
Protuberance angle	[alfprP]	0.000	
Tip form height coefficient	[hFaP*]	0.000	
Ramp angle	[alfKP]	0.000	
		not topping	

Gear reference profile	2 :		
Reference profile	DIN 5480:2006 0.55 / 0.16 / 0.45 Broaching		
Dedendum coefficient	[hfP*]	0.550	
Root radius factor	[rhofP*]	0.160 (rhofPmax*=0.810)	
Addendum coefficient	[haP*]	0.450	
Tip radius factor	[rhoaP*]	0.000	
Protuberance height coefficient	[hprP*]	0.000	
Protuberance angle	[alfprP]	0.000	
Tip form height coefficient	[hFaP*]	0.000	
Ramp angle	[alfKP]	0.000	
		not topping	

Summary of reference profile gears:			
Dedendum reference profile	[hfP*]	0.550	0.550
Tooth root radius Refer. profile	[rofP*]	0.160	0.160
Addendum Reference profile	[haP*]	0.450	0.450
Protuberance height coefficient	[hprP*]	0.000	0.000
Protuberance angle (°)	[alfprP]	0.000	0.000
Tip form height coefficient	[hFaP*]	0.000	0.000
Ramp angle (°)	[alfKP]	0.000	0.000

Transverse module (mm)	[mt]	2.000
Pressure angle at pitch circle (°)	[alft]	30.000
Base helix angle (°)	[betab]	0.000

	[Summexi]	0.0000	
		----- SHAFT -----	HUB -----
Profile shift coefficient	[x]	-0.0500	0.0500
Profile shift (x*m) (mm)	[x*m]	-0.1000	0.1000
Reference diameter (mm)	[d]	76.000	76.000
Base diameter (mm)	[db]	65.818	65.818
Tip diameter (mm)	[da]	77.600	74.000
Effective tip diameter (mm)	[da.e/i]	77.600 / 77.410	74.000 / 74.190
Tip diameter allowances (mm)	[Ada.e/i]	0.000 / -0.190	-0.000 / 0.190
Root diameter (mm)	[df]	73.600	78.000
Effective root diameters (mm)	[df.e/i]	73.565 / 73.503	78.052 / 78.139
Root diameter allowances (mm)	[Adf.e/i]	-0.035 / -0.097	0.052 / 0.139
Generating Profile shift coefficient	[xE.e/i]	-0.0587 / -0.0742	0.0370 / 0.0154
Root form diameter (mm)	[dFf]	74.008	77.663
Effective root form diameter (mm)	[dFf.e/i]	73.976 / 73.919	77.720 / 77.815
(dFf2 calculated with virtual pinion type cutter (circa): z=	25 x=	0.000	rhoaP0*=0.1)
Active tip diameter (mm)	[dNa.e/i]	77.600 / 77.410	74.000 / 74.190
Active root diameter (mm)	[dNf.e/i]	74.000 / 74.190	77.600 / 77.410
Tooth height (mm)	[h]	2.000	2.000
Theoretical tip clearance (mm)	[c]	0.200	0.200
Effective tip clearance (mm)	[c.e/i]	0.364 / 0.226	0.343 / 0.217
Normal tooth thickness at tip circle (mm)	[san]	2.118	2.094
(mm)	[san.e/i]	2.210 / 2.061	2.168 / 2.016
Normal space width at root circle (mm)	[efn]	1.880	1.876
(mm)	[efn.e/i]	1.881 / 1.884	1.875 / 1.873
Pitch on reference circle (mm)	[pt]		6.283
Base pitch (mm)	[pbt]		5.441
Transverse pitch on contact-path (mm)	[pet]		5.441

2. MEASUREMENTS FOR TOOTH THICKNESS

		----- SHAFT -----	HUB -----	
		8	9	DIN 5480 H
Accuracy grade				
Tooth thickness tolerance		DIN 5480 h		DIN 5480 H
Number of teeth spanned	[k]	7.0000	7.0000	
Base tangent length (no backlash) (mm)	[Wk]	38.8069	38.8069	
Diameter of measuring circle (mm)	[dMWk.m]	76.4022	76.4132	
Theoretical diameter of ball/pin (mm)	[dm]	3.6985	3.5267	
Effective diameter of ball/pin (mm)	[DMeff]	3.7500	3.7500	
Theor. dimension over two balls (mm)	[MRe/Mri-ball]	81.5477	69.8721	
Diametral measurement over pins without clearance (mm)	[MRe/Mri-pin]	81.5477	69.8721	
Data for Actual Dimensions (DIN 5480:2006)				
Tooth thickness / Spacewidth (mm)	[Smax/Smin, Emax/Emin]	3.0061 / 2.9701	3.1061 / 3.0561	
Tooth thickness tolerance, normal section (mm)	[Tol.Smax/min]	-0.0200 / -0.0560		
Tooth space tolerance, normal section (mm)	[Tol.Emax/min]		0.0800 / 0.0300	
Base tangent length (mm)	[Wk.Smax/Smin]	38.7896 / 38.7584	38.8762 / 38.8329	
Diametral two ball measure (mm)	[MRe/Mri-ball]	81.5152 / 81.4566	70.0261 / 69.9300	
Diametral measurement over pins (mm)	[MRe/Mri-pin]	81.5152 / 81.4566	70.0261 / 69.9300	
Data for Effective Dimensions (DIN 5480:2006)				
Tooth thickness / Spacewidth (mm)	[Svmax/min, Evmax/min]	3.0261 / 3.0061	3.0561 / 3.0261	
Tooth thickness tolerance, normal section (mm)	[Tol.Svmax/min]	0.0000 / -0.0200		
Tooth space tolerance, normal section (mm)	[Tol.Evmax/min]		0.0300 / 0.0000	
Base tangent length (mm)	[Wk.Svmax/min]	(38.8069 / 38.7896)	(38.8329 / 38.8069)	
Diametral two ball measure (mm)	[MRe/Mri-ball] (	81.5477 / 81.5152)	(69.9300 / 69.8721)	
Diametral measurement over pins (mm)	[MRe/Mri-pin]	(81.5477 / 81.5152)	(69.9300 / 69.8721)	
Tolerance data DIN 5480-1 (mm)	[TG]	0.0560	0.0800	
(mm)	[Tact]	0.0360	0.0500	
(mm)	[Teff]	0.0200	0.0300	
Circumferential backlash (transverse section):				
-Theoretical (without form errors) (mm)	[jt.th]	0.1360 / 0.0500		
-Effective (with form errors) (mm)	[jt.eff]	0.0500 / 0.0000		
Normal backlash theoretical (mm)	[jn.th]	0.1178 / 0.0433		
Normal backlash (mm)	[jn.eff]	0.0433 / 0.0000		
Radial backlash (mm)	[jr.eff]	0.0421 / 0.0000		

Notice: When controlling splines with individual measurements (base tangent length/pin diameter) respect the values in 'Actual dimensions'.

3. GEAR ACCURACY

		----- SHAFT -----	HUB -----	
According to DIN 5480:2006:				
Accuracy grade	[Q-DIN5480]		8	9
Total profile deviation (µm)	[Fa]	19.0		25.0
Total helix deviation (µm)	[Fb]	10.0		13.0
Single pitch deviation (µm)	[fp]	15.0		21.0
Total cumulative pitch deviation (µm)	[Fp]	36.0		50.0
Runout (µm)	[Fr]	50.0		50.0

5. ADDITIONAL DATA

Moment of inertia (System referenced to wheel 1):				
calculation without consideration of the exact tooth shape				
single gears	((da+df)/2...di) (kg*m²)	[TraeghMom]	0.0009001	0.0008878
System	((da+df)/2...di) (kg*m²)	[TraeghMom]		0

6. MODIFICATIONS AND TOOTH FORM DEFINITION

Data for the tooth form calculation :
Data not available.
Please run the calculation in the "Tooth form" tab and open the main report again.

REMARKS:

- Specifications with [.,e/i] imply: Maximum [e] and Minimal value [i] with consideration of all tolerances
- Specifications with [.m] imply: Mean value within tolerance

_O.GroupBox.Shaft134p.Shaft3.z4.FeatherKey_calc5

**Warning: Calculation not consistent.
Results are probably not valid!**

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

1-> The small outside diameter of the hub D1 is too small.

Keys [M02a]

Calculation method: DIN 6892-C:2012

Label	DIN 6885.1:1968 Default	
Key width (mm)	[b]	50.00
Key height (mm)	[h]	28.00
Shaft diameter (mm)	[d]	228.00
Nominal torque (Nm)	[Tn]	5806.70
Application factor	[KA]	1.00
equivalent torque (Nm)	[Teq]	0.00
Maximum torque (Nm)	[Tmax]	0.00
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
equivalent circumferential stress (N)	[Feq]	0.00
Maximal circumferential force (N)	[Fmax]	0.00
Contact coefficient for equivalent surface pressure	[Kneq]	0.00
Contact coefficient for maximal surface pressure	[Knmax]	0.00
Friction factor	[KReq]	0.000
Friction factor	[KR]	0.000
Groove depth shaft (minimal value) (mm)	[t1]	17.00
Supporting key length (mm)	[ltr]	51.00
Supporting key height (mm)	[h-t1]	1.00
Pressure stress (N/mm ²)	[peq]	0.00
Pressure stress (N/mm ²)	[pmax]	0.00

Shaft

Material	C45 (1)
Type	Through hardened steel
Treatment	unalloyed, through hardened
Tensile strength (N/mm ²)	[Rm] 700.00 (d= 0- 16mm)
Yield point (N/mm ²)	[Re] 490.00 (d= 0- 16mm)
Permissible surface pressure (N/mm ²)	[pzul] 0.00
Load peak frequency coefficient	[fL] 0.00
Safety against flow (fw * pzul / peq)	[SFeq] 0.00
Safety against flow (fL * pzul / pmax)	[SFmax] 0.00
Minimal safety	[SF] 0.00

Hub

Material	C45 (1)
Type	Through hardened steel
Treatment	unalloyed, through hardened
Tensile strength (N/mm ²)	[Rm] 700.00 (d= 0- 16mm)
Yield point (N/mm ²)	[Re] 490.00 (d= 0- 16mm)
Permissible surface pressure (N/mm ²)	[pzul] 0.00
Load peak frequency coefficient	[fL] 0.00
Safety against flow (fw * pzul / peq)	[SFeq] 0.00
Safety against flow (fL * pzul / pmax)	[SFmax] 0.00

Minimal safety [SF] 0.00

Key

Material	C45 (1)
Type	Through hardened steel
Treatment	unalloyed, through hardened
Tensile strength (N/mm ²)	[Rm] 700.00 (d= 0- 16mm)
Yield point (N/mm ²)	[Re] 490.00 (d= 0- 16mm)
Permissible surface pressure (N/mm ²)	[pzul] 0.00
Load peak frequency coefficient	[fL] 0.00
Safety against flow (fw * pzul / peq)	[SFeq] 0.00
Safety against flow (fL * pzul / pmax)	[SFmax] 0.00
Minimal safety	[SF] 0.00

Remarks:

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

O.GroupBox.Shaft134p.presouv.c12.InvoluteSpline_calc3

SPLINED JOINTS DIN 5480:2006

Shaft DIN 5480 - W 78.00x2.00x38x8h
Hub DIN 5480 - N 78.00x2.00x38x9H

Drawing or article number:
Shaft: 0.000.0
Hub: 0.000.0

1. TOOTH GEOMETRY AND MATERIAL

Normal module (mm)	[mn]		2.0000	
Nominal diameter DIN (mm)	[dB]		78.00	
Pressure angle at normal section (°)	[alfn]		30.000	
----- SHAFT ----- HUB -----				
Number of teeth	[z]		38	-38
Helix angle at reference circle (°)	[beta]		0.0000	
Facewidth (mm)	[b]		36.00	36.00
Hand of gear		Spur gear		

Material
Gear 1: C45 (1), Through hardened steel, unalloyed, through hardened
ISO 6336-5 Figure 5/6 (MQ)
Gear 2: C45 (1), Through hardened steel, unalloyed, through hardened
ISO 6336-5 Figure 5/6 (MQ)

Surface hardness		----- SHAFT ----- HUB ----		
186			HBW 186	HBW

Gear reference profile 1 :
Reference profile DIN 5480:2006 0.55 / 0.16 / 0.45 Broaching

Dedendum coefficient	[hfP*]	0.550
Root radius factor	[rhoFP*]	0.160 (rhoFPmax*=0.810)
Addendum coefficient	[haP*]	0.450
Tip radius factor	[rhoaP*]	0.000
Protuberance height coefficient	[hprP*]	0.000
Protuberance angle	[alfprP]	0.000
Tip form height coefficient	[hFaP*]	0.000
Ramp angle	[alfKP]	0.000

not topping

Gear reference profile 2 :
Reference profile DIN 5480:2006 0.55 / 0.16 / 0.45 Broaching

Dedendum coefficient	[hfP*]	0.550
Root radius factor	[rhoFP*]	0.160 (rhoFPmax*=0.810)
Addendum coefficient	[haP*]	0.450
Tip radius factor	[rhoaP*]	0.000
Protuberance height coefficient	[hprP*]	0.000
Protuberance angle	[alfprP]	0.000
Tip form height coefficient	[hFaP*]	0.000
Ramp angle	[alfKP]	0.000

not topping

Summary of reference profile gears:

Dedendum reference profile	[hfP*]	0.550	0.550
Tooth root radius Refer. profile	[rofpP*]	0.160	0.160
Addendum Reference profile	[haP*]	0.450	0.450
Protuberance height coefficient	[hprP*]	0.000	0.000
Protuberance angle (°)	[alfprP]	0.000	0.000
Tip form height coefficient	[hFaP*]	0.000	0.000
Ramp angle (°)	[alfKP]	0.000	0.000

Transverse module (mm)	[mt]	2.000
Pressure angle at pitch circle (°)	[alft]	30.000
Base helix angle (°)	[betab]	0.000

Sum of profile shift coefficients	[Summexi]	0.0000	
		----- SHAFT -----	HUB -----
Profile shift coefficient	[x]	-0.0500	0.0500
Profile shift (x*m) (mm)	[x*m]	-0.1000	0.1000
Reference diameter (mm)	[d]	76.000	76.000
Base diameter (mm)	[db]	65.818	65.818
Tip diameter (mm)	[da]	77.600	74.000
Effective tip diameter (mm)	[da.e/i]	77.600 / 77.410	74.000 / 74.190
Tip diameter allowances (mm)	[Ada.e/i]	0.000 / -0.190	-0.000 / 0.190
Root diameter (mm)	[df]	73.600	78.000
Effective root diameters (mm)	[df.e/i]	73.565 / 73.503	78.052 / 78.139
Root diameter allowances (mm)	[Adf.e/i]	-0.035 / -0.097	0.052 / 0.139
Generating Profile shift coefficient	[xE.e/i]	-0.0587 / -0.0742	0.0370 / 0.0154
Root form diameter (mm)	[dFf]	74.008	77.663
Effective root form diameter (mm)	[dFf.e/i]	73.976 / 73.919	77.720 / 77.815
(dFf2 calculated with virtual pinion type cutter (circa): z=	25 x=	0.000	rhoaP0*=0.1)
Active tip diameter (mm)	[dNa.e/i]	77.600 / 77.410	74.000 / 74.190
Active root diameter (mm)	[dNf.e/i]	74.000 / 74.190	77.600 / 77.410
Tooth height (mm)	[h]	2.000	2.000
Theoretical tip clearance (mm)	[c]	0.200	0.200
Effective tip clearance (mm)	[c.e/i]	0.364 / 0.226	0.343 / 0.217
Normal tooth thickness at tip circle (mm)	[san]	2.118	2.094
(mm)	[san.e/i]	2.210 / 2.061	2.168 / 2.016
Normal space width at root circle (mm)	[efn]	1.880	1.876
(mm)	[efn.e/i]	1.881 / 1.884	1.875 / 1.873
Pitch on reference circle (mm)	[pt]		6.283
Base pitch (mm)	[pbt]		5.441
Transverse pitch on contact-path (mm)	[pet]		5.441

2. MEASUREMENTS FOR TOOTH THICKNESS

		----- SHAFT -----	HUB -----	
Accuracy grade		8		9
Tooth thickness tolerance		DIN 5480 h		DIN 5480 H
Number of teeth spanned	[k]	7.0000	7.0000	
Base tangent length (no backlash) (mm)	[Wk]	38.8069	38.8069	
Diameter of measuring circle (mm)	[dMWk.m]	76.4022	76.4132	
Theoretical diameter of ball/pin (mm)	[dm]	3.6985	3.5267	
Effective diameter of ball/pin (mm)	[DMeff]	3.7500	3.7500	
Theor. dimension over two balls (mm)	[MRe/Mri-ball]	81.5477	69.8721	
Diametral measurement over pins without clearance (mm)	[MRe/Mri-pin]	81.5477	69.8721	
Data for Actual Dimensions (DIN 5480:2006)				
Tooth thickness / Spacewidth (mm)	[Smax/Smin, Emax/Emin]	3.0061 / 2.9701	3.1061 / 3.0561	
Tooth thickness tolerance, normal section (mm)	[Tol.Smax/min]	-0.0200 / -0.0560		
Tooth space tolerance, normal section (mm)	[Tol.Emax/min]		0.0800 / 0.0300	
Base tangent length (mm)	[Wk.Smax/Smin]	38.7896 / 38.7584	38.8762 / 38.8329	
Diametral two ball measure (mm)	[MRe/Mri-ball]	81.5152 / 81.4566	70.0261 / 69.9300	
Diametral measurement over pins (mm)	[MRe/Mri-pin]	81.5152 / 81.4566	70.0261 / 69.9300	
Data for Effective Dimensions (DIN 5480:2006)				
Tooth thickness / Spacewidth (mm)	[Svmax/min, Evmax/min]	3.0261 / 3.0061	3.0561 / 3.0261	
Tooth thickness tolerance, normal section (mm)	[Tol.Svmax/min]	0.0000 / -0.0200		
Tooth space tolerance, normal section (mm)	[Tol.Evmax/min]		0.0300 / 0.0000	
Base tangent length (mm)	[Wk.Svmax/min]	(38.8069 / 38.7896)	(38.8329 / 38.8069)	
Diametral two ball measure (mm)	[MRe/Mri-ball] (	81.5477 / 81.5152)	(69.9300 / 69.8721)	
Diametral measurement over pins (mm)	[MRe/Mri-pin]	(81.5477 / 81.5152)	(69.9300 / 69.8721)	
Tolerance data DIN 5480-1 (mm)	[TG]	0.0560	0.0800	
(mm)	[Tact]	0.0360	0.0500	
(mm)	[Teff]	0.0200	0.0300	
Circumferential backlash (transverse section):				
-Theoretical (without form errors) (mm)	[jt.th]	0.1360 / 0.0500		
-Effective (with form errors) (mm)	[jt.eff]	0.0500 / 0.0000		
Normal backlash theoretical (mm)	[jn.th]	0.1178 / 0.0433		
Normal backlash (mm)	[jn.eff]	0.0433 / 0.0000		
Radial backlash (mm)	[jr.eff]	0.0421 / 0.0000		

Notice: When controlling splines with individual measurements (base tangent length/pin diameter) respect the values in 'Actual dimensions'.

3. GEAR ACCURACY

		----- SHAFT -----	HUB -----	
According to DIN 5480:2006:				
Accuracy grade	[Q-DIN5480]		8	9
Total profile deviation (µm)	[Fa]	19.0		25.0
Total helix deviation (µm)	[Fb]	10.0		13.0
Single pitch deviation (µm)	[fp]	15.0		21.0
Total cumulative pitch deviation (µm)	[Fp]	36.0		50.0
Runout (µm)	[Fr]	50.0		50.0

5. ADDITIONAL DATA

Moment of inertia (System referenced to wheel 1):				
calculation without consideration of the exact tooth shape				
single gears	((da+df)/2...di) (kg*m ²)	[TraeghMom]	0.0009001	0.0008878
System	((da+df)/2...di) (kg*m ²)	[TraeghMom]		0

6. MODIFICATIONS AND TOOTH FORM DEFINITION

Data for the tooth form calculation :
 Data not available.
 Please run the calculation in the "Tooth form" tab and open the main report again.

REMARKS:

- Specifications with [.e/i] imply: Maximum [e] and Minimal value [i] with consideration of all tolerances
- Specifications with [.m] imply: Mean value within tolerance

O.GroupBox.Shaft2.Shaft2_calc

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

1-> Shaft 'Shaft2', Rolling bearing 'RollerBearing3':

The minimal load of the bearing is not achieved!

(P = 3.2 kN, Pmind = 5.4 kN, Condition: P/C > 2.000 %)

2-> The speed limit of the bearing 'Shaft 'Shaft2', Rolling bearing 'RollerBearing3' is not known (in the database).

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

3-> The speed limit of the bearing 'Shaft 'Shaft2', Rolling bearing 'RollerBearing4' is not known (in the database).

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

4-> The required service life of bearing 'Shaft 'Shaft2', Rolling bearing 'RollerBearing4' is not achieved!

Analysis of shafts, axle and beams

Input data

Coordinate system shaft: see picture W-002

Label	Shaft2
Drawing	
Initial position (mm)	0.000
Length (mm)	210.000
Speed (1/min)	415.09
Sense of rotation: counter clockwise	
Material	C45 (1)
Young's modulus (N/mm ²)	206000.000
Poisson's ratio nu	0.300
Density (kg/m ³)	7830.000
Coefficient of thermal expansion (10 ⁻⁶ /K)	11.500
Temperature (°C)	20.000
Weight of shaft (kg)	7.786
Weight of shaft, including additional masses (kg)	7.786
Mass moment of inertia (kg*mm ²)	5994.683
Momentum of mass GD2 (Nm ²)	0.235
The direction of the weight is not considered	
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

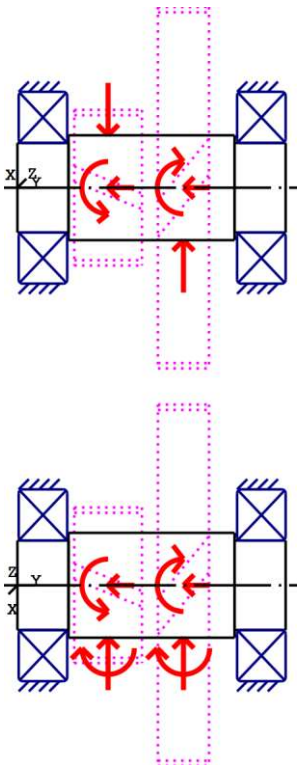


Figure: Load applications

Shaft definition (Shaft2)

Outer contour

Cylinder (Cylinder)			0.000mm ...	40.000mm
Diameter (mm)	[d]	70.0000		
Length (mm)	[l]	40.0000		
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000		

Radius right (Radius left)
r=2.00 (mm), Rz=8.0, Machined (Ra=3.2µm/125µin)

Cylinder (Cylinder)			40.000mm ...	170.000mm
Diameter (mm)	[d]	82.0000		
Length (mm)	[l]	130.0000		
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000		

Cylinder (Cylinder)			170.000mm ...	210.000mm
Diameter (mm)	[d]	70.0000		
Length (mm)	[l]	40.0000		
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000		

Radius left (Radius right)
r=2.00 (mm), Rz=8.0, Machined (Ra=3.2µm/125µin)

Forces

Type of force element		Cylindrical gear
Label in the model		z2
Position on shaft (mm)	[Ylocal]	130.0000
Position in global system (mm)	[Yglobal]	130.0000
Operating pitch diameter (mm)		282.6667
Helix angle (°)		20.0431 left
Working pressure angle at normal section (°)		20.3218
Position of contact (°)		-90.0000

Length of load application (mm)		40.0000
Power (kW)		112.6826 driven (input)
Torque (Nm)		-2592.2782
Axial force (N)		-6691.4065
Shearing force X (N)		18341.5907
Shearing force Z (N)		7230.6225
Bending moment X (Nm)		-945.7188
Bending moment Z (Nm)		-0.0000
Type of force element		
		Cylindrical gear
Label in the model		z3
Position on shaft (mm)	[Ylocal]	71.0000
Position in global system (mm)	[Yglobal]	71.0000
Operating pitch diameter (mm)		121.7391
Helix angle (°)		20.3932 right
Working pressure angle at normal section (°)		22.7316
Position of contact (°)		-90.0000
Length of load application (mm)		53.0000
Power (kW)		112.6826 driving (output)
Torque (Nm)		2592.2782
Axial force (N)		-15832.3456
Shearing force X (N)		-42587.4267
Shearing force Z (N)		19035.3552
Bending moment X (Nm)		-963.7080
Bending moment Z (Nm)		-0.0000

Bearing

Label in the model		RollerBearing3
Bearing type		SKF 30314
Bearing type		Taper roller bearing (single row)
		SKF EXPLORER
Bearing position (mm)	[Ylocal]	191.000
Bearing position (mm)	[Yglobal]	191.000
Attachment of external ring		Set fixed bearing right
Inner diameter (mm)	[d]	70.000
External diameter (mm)	[D]	150.000
Width (mm)	[b]	38.000
Corner radius (mm)	[r]	3.000
Number of rolling bodies	[Z]	7
Rolling body reference circle (mm)	[D _{pw}]	110.363
Diameter rolling body (mm)	[D _w]	30.904
Rolling body length (mm)	[L _{we}]	38.571
Distance a (mm)	[a]	29.179
Diameter, external race (mm)	[d _o]	140.764
Diameter, internal race (mm)	[d _i]	79.962
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) 180.8210
Basic static load rating (kN)	[C ₀]	260.000
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	271.000
Fatigue load rating (kN)	[C _u]	31.000
Values for approximated geometry:		
Basic dynamic load rating (kN)	[C _{theo}]	270.999
Basic static load rating (kN)	[C _{0theo}]	259.964
Correction factor Basic dynamic load rating	[f _C]	1.000
Correction factor Basic static load rating	[f _{C0}]	1.000

Label in the model		RollerBearing4
Bearing type		SKF 30314
Bearing type		Taper roller bearing (single row)
		SKF EXPLORER
Bearing position (mm)	[Ylocal]	20.000
Bearing position (mm)	[Yglobal]	20.000
Attachment of external ring		Set fixed bearing left

Inner diameter (mm)	[d]	70.000
External diameter (mm)	[D]	150.000
Width (mm)	[b]	38.000
Corner radius (mm)	[r]	3.000
Number of rolling bodies	[Z]	7
Rolling body reference circle (mm)	[D _{pw}]	110.363
Diameter rolling body (mm)	[D _w]	30.904
Rolling body length (mm)	[L _{we}]	38.571
Distance a (mm)	[a]	29.179
Diameter, external race (mm)	[d _o]	140.764
Diameter, internal race (mm)	[d _i]	79.962

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) 30.1790

Basic static load rating (kN)	[C ₀]	260.000
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	271.000
Fatigue load rating (kN)	[C _u]	31.000
Values for approximated geometry:		
Basic dynamic load rating (kN)	[C _{theo}]	270.999
Basic static load rating (kN)	[C _{0theo}]	259.964
Correction factor Basic dynamic load rating	[f _C]	1.000
Correction factor Basic static load rating	[f _{C0}]	1.000

Results

Shaft

Maximum deflection (µm)	68.745
Position of the maximum (mm)	210.000
Mass center of gravity (mm)	105.000
Total axial load (N)	-22523.752
Torsion under torque (°)	-0.025

Bearing

Probability of failure	[n]	10.00	%
Axial clearance	[u _A]	10.00	µm
Lubricant	Oil: ISO-VG 220		
Lubricant - service temperature	[T _B]	70.00	°C
Rolling bearing stiffness calculated from internal geometry			

Shaft 'Shaft2' Rolling bearing 'RollerBearing3'

Position (Y-coordinate)	[y]	191.00	mm
Dynamic equivalent load	[P]	3.15	kN
Equivalent load	[P ₀]	3.15	kN
Life modification factor for reliability[a ₁]		1.000	
Basic bearing rating life	[L _{nh}]	> 1000000	h
Operating viscosity	[v]	48.88	mm ² /s
Minimum EHL lubricant film thickness	[h _{min}]	0.201	µm
Static safety factor	[S ₀]	82.50	
Operating bearing clearance	[Pd]	0.000	µm
Reference rating service life	[L _{nrh}]	> 1000000	h
Bearing reaction force	[Fx]	-1.054	kN
Bearing reaction force	[Fy]	-0.817	kN
Bearing reaction force	[Fz]	2.970	kN
Bearing reaction force	[Fr]	3.151	kN (109.54°)
Bearing reaction moment	[Mx]	-33.07	Nm
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm
Bearing reaction moment	[Mz]	-11.49	Nm
Bearing reaction moment	[Mr]	35.01	Nm (-160.85°)
Oil level	[H]	0.000	mm

Load-independent moment of friction	[M ₀]	0.198	Nm
Load-dependent moment of friction	[M ₁]	0.002	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}]	0.200	Nm
Power loss	[P _{loss}]	8.704	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.			
Displacement of bearing	[u _x]	17.316	µm
Displacement of bearing	[u _y]	-156.428	µm
Displacement of bearing	[u _z]	-55.321	µm
Displacement of bearing	[u _r]	57.968	µm (-72.62°)
Misalignment of bearing	[r _x]	-0.522	mrad (-1.8')
Misalignment of bearing	[r _y]	-0.435	mrad (-1.5')
Misalignment of bearing	[r _z]	-0.228	mrad (-0.78')
Misalignment of bearing	[r _r]	0.570	mrad (1.96')

Shaft 'Shaft2' Rolling bearing 'RollerBearing4'

Position (Y-coordinate)	[y]	20.00	mm
Dynamic equivalent load	[P]	55.13	kN
Equivalent load	[P ₀]	40.33	kN
Life modification factor for reliability[a ₁]		1.000	
Basic bearing rating life	[L _{nh}]	8106.87	h
Operating viscosity	[ν]	48.88	mm ² /s
Minimum EHL lubricant film thickness	[h _{min}]	0.146	µm
Static safety factor	[S ₀]	6.45	
Operating bearing clearance	[Pd]	0.000	µm
Reference rating service life	[L _{nrh}]	33665.31	h
Bearing reaction force	[F _x]	25.300	kN
Bearing reaction force	[F _y]	23.335	kN
Bearing reaction force	[F _z]	-29.236	kN
Bearing reaction force	[F _r]	38.663	kN (-49.13°)
Bearing reaction moment	[M _x]	-331.64	Nm
Bearing reaction moment	[M _y]	0.00	Nm
Bearing reaction moment	[M _z]	-323.14	Nm
Bearing reaction moment	[M _r]	463.04	Nm (-135.74°)
Oil level	[H]	0.000	mm
Load-independent moment of friction	[M ₀]	0.297	Nm
Load-dependent moment of friction	[M ₁]	0.004	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}]	0.301	Nm
Power loss	[P _{loss}]	13.104	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 1994.			
Displacement of bearing	[u _x]	-15.284	µm
Displacement of bearing	[u _y]	-154.715	µm
Displacement of bearing	[u _z]	20.856	µm
Displacement of bearing	[u _r]	25.857	µm (126.24°)
Misalignment of bearing	[r _x]	-0.427	mrad (-1.47')
Misalignment of bearing	[r _y]	-0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r _z]	-0.147	mrad (-0.51')
Misalignment of bearing	[r _r]	0.452	mrad (1.55')

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

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

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

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

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

Damage (%)	[Lreq] (14000.000)	
Bin no	B1	B2
1	1.40	172.69

Σ	1.40	172.69

Utilization (%)	[Lreq] (14000.000)
B1	B2
27.79	117.81
Note: Utilization = (Lreq/Lh)^(1/k)	

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

B 1: RollerBearing3
B 2: RollerBearing4

Shaft '

Shaft2', Dokumentationspunkt Documentation point

Y position (mm)	[y]	190.00
Equivalent stress (N/mm ²)	[σ _v]	2.22
Equivalent stress (Tresca) (N/mm ²)	[σ _v]	2.30
Bending Stress (N/mm ²)	[σ _b]	0.95
Normal stress (N/mm ²)	[σ _{zd}]	-0.21
Shear stress (torsion) (N/mm ²)	[τ _T]	0.00
Shear stress (shearing force) (N/mm ²)	[τ _Q]	1.09

	X	Y	Z	R
Displacement (mm)	0.0171	-0.1564	-0.0548	0.0574
Rotation (mrad)	-0.5222	-0.4349	-0.2282	0.5699
Force (kN)	-1.0539	-0.8174	2.9699	3.1514
Torque (Nm)	-30.1028	0.0000	-10.4338	30.1028

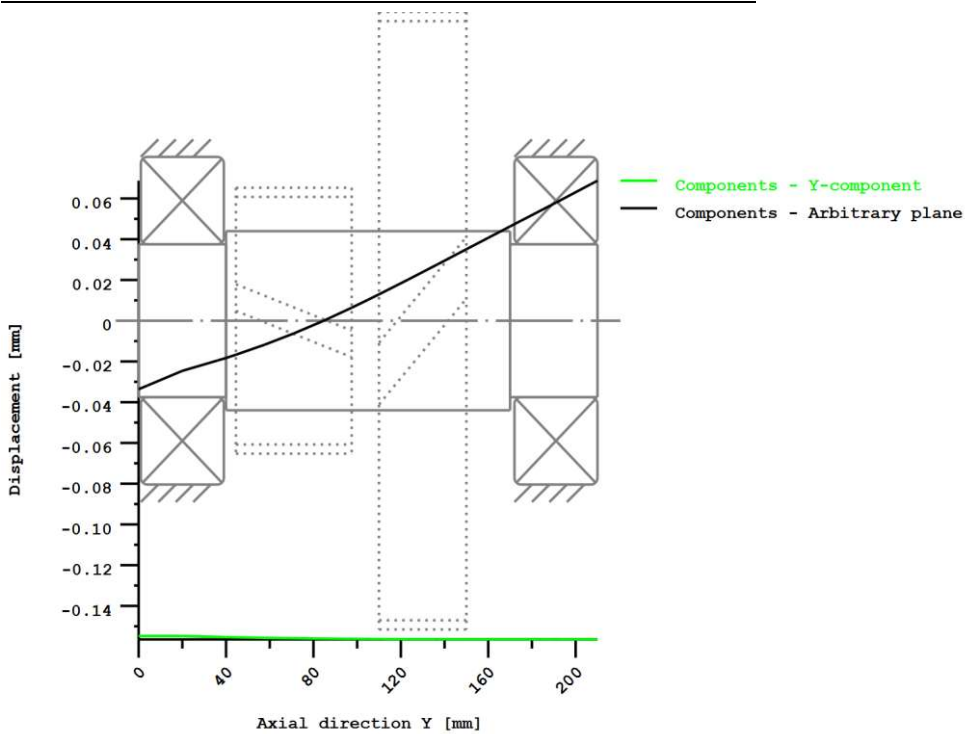
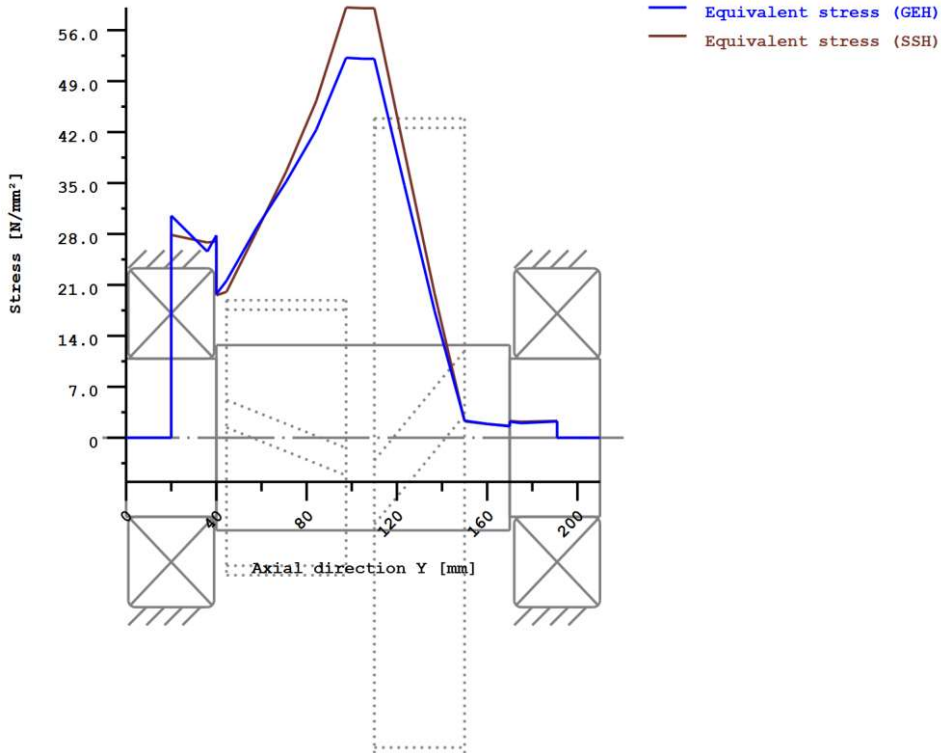


Figure: Deformation (bending etc.) (Arbitrary plane 288.3591437 121)



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

Figure: Equivalent stress

_O.GroupBox.Shaft2.z2.FeatherKey_calc2

**Warning: Calculation not consistent.
Results are probably not valid!**

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

1-> key width is not defined.

Keys [M02a]

Calculation method: DIN 6892-C:2012

Label	Own Input	
Key width (mm)	[b]	0.00
Key height (mm)	[h]	0.00
Shaft diameter (mm)	[d]	82.00
Nominal torque (Nm)	[Tn]	2592.28
Application factor	[KA]	1.00
equivalent torque (Nm)	[Teq]	0.00
Maximum torque (Nm)	[Tmax]	0.00
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
equivalent circumferential stress (N)	[Feq]	0.00
Maximal circumferential force (N)	[Fmax]	0.00
Contact coefficient for equivalent surface pressure	[Kneq]	0.00
Contact coefficient for maximal surface pressure	[Knmax]	0.00
Friction factor	[KReq]	0.000
Friction factor	[KR]	0.000
Groove depth shaft (minimal value) (mm)	[t1]	0.00
Supporting key length (mm)	[ltr]	40.00
Supporting key height (mm)	[h-t1]	1.00
Pressure stress (N/mm ²)	[peq]	0.00
Pressure stress (N/mm ²)	[pmax]	0.00

Shaft

Material	C45 (1)
Type	
Treatment	
Tensile strength (N/mm ²)	[Rm] 700.00 (d= 0- 16mm)
Yield point (N/mm ²)	[Re] 490.00 (d= 0- 16mm)
Permissible surface pressure (N/mm ²)	[pzul] 0.00
Load peak frequency coefficient	[fL] 0.00
Safety against flow (fw * pzul / peq)	[SFeq] 0.00
Safety against flow (fL * pzul / pmax)	[SFmax] 0.00
Minimal safety	[SF] 0.00

Hub

Material	C45 (1)
Type	
Treatment	
Tensile strength (N/mm ²)	[Rm] 700.00 (d= 0- 16mm)
Yield point (N/mm ²)	[Re] 490.00 (d= 0- 16mm)
Permissible surface pressure (N/mm ²)	[pzul] 0.00
Load peak frequency coefficient	[fL] 0.00
Safety against flow (fw * pzul / peq)	[SFeq] 0.00
Safety against flow (fL * pzul / pmax)	[SFmax] 0.00

Minimal safety [SF] 0.00

Key

Material	C45 (1)	
Type		
Treatment		
Tensile strength (N/mm ²)	[Rm]	700.00 (d= 0- 16mm)
Yield point (N/mm ²)	[Re]	490.00 (d= 0- 16mm)
Permissible surface pressure (N/mm ²)	[pzul]	0.00
Load peak frequency coefficient	[fL]	0.00
Safety against flow (fw * pzul / peq)	[SFeq]	0.00
Safety against flow (fL * pzul / pmax)	[SFmax]	0.00
Minimal safety	[SF]	0.00

Remarks:

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

O.GroupBox.Shaft6.Shaft6_calc

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

1-> The speed limit of the bearing 'Shaft 'Shaft6', Rolling bearing 'RollerBearing8" is not known (in the database).

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

2-> The required service life of bearing 'Shaft 'Shaft6', Rolling bearing 'RollerBearing8" is not achieved!

3-> The speed limit of the bearing 'Shaft 'Shaft6', Rolling bearing 'RollerBearing9" is not known (in the database).

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

4-> The required service life of bearing 'Shaft 'Shaft6', Rolling bearing 'RollerBearing9" is not achieved!

Analysis of shafts, axle and beams

Input data

Coordinate system shaft: see picture W-002

Label	Shaft6
Drawing	
Initial position (mm)	0.000
Length (mm)	227.000
Speed (1/min)	142.43
Sense of rotation: counter clockwise	
Material	C45 (1)
Young's modulus (N/mm ²)	206000.000
Poisson's ratio nu	0.300
Density (kg/m ³)	7830.000
Coefficient of thermal expansion (10 ⁻⁶ /K)	11.500
Temperature (°C)	20.000
Weight of shaft (kg)	11.064
Weight of shaft, including additional masses (kg)	11.064
Mass moment of inertia (kg*m ²)	0.011
Momentum of mass GD2 (Nm ²)	0.444
The direction of the weight is not considered	
Consider deformations due to shearing	
Shear correction factor	1.100
Contact angle of rolling bearings is considered	
Tolerance field: Mean value	
Reference temperature (°C)	20.000

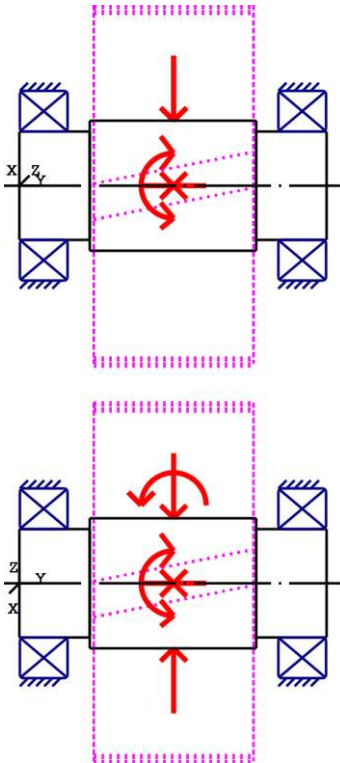


Figure: Load applications

Shaft definition (Shaft6)

Outer contour

Cylinder (Cylinder)			0.000mm ...	52.000mm
Diameter (mm)	[d]	80.0000		
Length (mm)	[l]	52.0000		
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000		

Radius right (Radius right)
r=2.00 (mm), Rz=8.0, Machined (Ra=3.2µm/125µin)

Radius right (Radius right)
r=2.00 (mm), Rz=8.0, Machined (Ra=3.2µm/125µin)

Cylinder (Cylinder)			52.000mm ...	175.000mm
Diameter (mm)	[d]	96.0000		
Length (mm)	[l]	123.0000		
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000		

Cylinder (Cylinder)			175.000mm ...	227.000mm
Diameter (mm)	[d]	80.0000		
Length (mm)	[l]	52.0000		
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		Cylindrical gear
Label in the model		z6(90.0)
Position on shaft (mm)	[ylocal]	114.0000
Position in global system (mm)	[yglobal]	114.0000
Operating pitch diameter (mm)		266.7692

Helix angle (°)	10.2962 left
Working pressure angle at normal section (°)	24.1448
Position of contact (°)	90.0000
Length of load application (mm)	118.0000
Power (kW)	108.2204 driven (input)
Torque (Nm)	-7255.4756
Axial force (N)	-9881.5695
Shearing force X (N)	-54395.1448
Shearing force Z (N)	-24782.3013
Bending moment X (Nm)	1318.0494
Bending moment Z (Nm)	-0.0000

		Cylindrical gear
Label in the model		z6(-90.0)
Position on shaft (mm)	[Ylocal]	114.0000
Position in global system (mm)	[Yglobal]	114.0000
Operating pitch diameter (mm)		262.8781
Helix angle (°)		10.1492 left
Working pressure angle at normal section (°)		22.1771
Position of contact (°)		-90.0000
Length of load application (mm)		118.0000
Power (kW)		108.2204 driving (output)
Torque (Nm)		7255.4756
Axial force (N)		9881.5695
Shearing force X (N)		-55200.3144
Shearing force Z (N)		22858.7733
Bending moment X (Nm)		1298.8239
Bending moment Z (Nm)		0.0000

Bearing

Label in the model		RollerBearing8
Bearing type		SKF 32216
Bearing type		Taper roller bearing (single row)
Bearing type		SKF EXPLORER
Bearing position (mm)	[Ylocal]	18.000
Bearing position (mm)	[Yglobal]	18.000
Attachment of external ring		Set fixed bearing left
Inner diameter (mm)	[d]	80.000
External diameter (mm)	[D]	140.000
Width (mm)	[b]	35.250
Corner radius (mm)	[r]	2.500
The bearing pressure angle will be considered in the calculation		
Position (center of pressure)		(mm) 30.4290
Basic static load rating (kN)	[C ₀]	245.000
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	228.000
Fatigue load rating (kN)	[C _u]	28.500
Values for approximated geometry:		
Basic dynamic load rating (kN)	[C _{theo}]	0.000
Basic static load rating (kN)	[C _{0theo}]	0.000
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 32216
Bearing type		Taper roller bearing (single row)
Bearing type		SKF EXPLORER
Bearing position (mm)	[Ylocal]	209.000
Bearing position (mm)	[Yglobal]	209.000
Attachment of external ring		Set fixed bearing right
Inner diameter (mm)	[d]	80.000
External diameter (mm)	[D]	140.000
Width (mm)	[b]	35.250
Corner radius (mm)	[r]	2.500
The bearing pressure angle will be considered in the calculation		
Position (center of pressure)		(mm) 196.5710

Basic static load rating (kN)	[C ₀]	245.000
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	228.000
Fatigue load rating (kN)	[C _u]	28.500
Values for approximated geometry:		
Basic dynamic load rating (kN)	[C _{theo}]	0.000
Basic static load rating (kN)	[C _{0theo}]	0.000
Correction factor Basic dynamic load rating	[f _C]	1.000
Correction factor Basic static load rating	[f _{C0}]	1.000

Results

Shaft

Maximum deflection (µm)	20.836
Position of the maximum (mm)	113.500
Mass center of gravity (mm)	113.500
Total axial load (N)	-0.000
Torsion under torque (°)	0.000

Bearing

Probability of failure	[n]	10.00	%
Axial clearance	[u _A]	10.00	µm
Lubricant	Oil: ISO-VG 220		
Lubricant - service temperature	[T _B]	70.00	°C
Rolling bearings, classical calculation (contact angle considered)			

Shaft 'Shaft6' Rolling bearing 'RollerBearing8'

Position (Y-coordinate)	[y]	18.00	mm
Dynamic equivalent load	[P]	56.97	kN
Equivalent load	[P ₀]	56.97	kN
Life modification factor for reliability[a ₁]		1.000	
Basic bearing rating life	[L _{nh}]	11908.23	h
Operating viscosity	[v]	48.88	mm ² /s
Static safety factor	[S ₀]	4.30	
Bearing reaction force	[F _x]	54.466	kN
Bearing reaction force	[F _y]	20.380	kN
Bearing reaction force	[F _z]	16.706	kN
Bearing reaction force	[F _r]	56.971	kN (17.05°)
Bearing reaction moment	[M _x]	207.64	Nm
Bearing reaction moment	[M _y]	0.00	Nm
Bearing reaction moment	[M _z]	-676.96	Nm
Bearing reaction moment	[M _r]	708.09	Nm (-72.95°)
Oil level	[H]	0.000	mm
Rolling moment of friction	[M _{rr}]	1.764	Nm
Sliding moment of friction	[M _{sl}]	7.827	Nm
Moment of friction, seals	[M _{seal}]	0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 17000/1 EN:2018			
Moment of friction flow losses	[M _{drag}]	0.000	Nm
Torque of friction	[M _{loss}]	9.591	Nm
Power loss	[P _{loss}]	143.060	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 2018.			
The calculation is always performed with a coefficient for additives in the lubricant µ _{bl} =0.15.			
Displacement of bearing	[u _x]	0.000	µm
Displacement of bearing	[u _y]	-10.000	µm
Displacement of bearing	[u _z]	0.000	µm
Displacement of bearing	[u _r]	0.000	µm
Misalignment of bearing	[r _x]	0.021	mrاد (0.07')
Misalignment of bearing	[r _y]	0.000	mrاد (0')
Misalignment of bearing	[r _z]	0.189	mrاد (0.65')
Misalignment of bearing	[r _r]	0.190	mrاد (0.65')

Shaft 'Shaft6' Rolling bearing 'RollerBearing9'

Position (Y-coordinate)	[y]	209.00	mm
Dynamic equivalent load	[P]	57.07	kN
Equivalent load	[P0]	57.07	kN
Life modification factor for reliability[a1]		1.000	
Basic bearing rating life	[Lnh]	11836.89	h
Operating viscosity	[v]	48.88	mm ² /s
Static safety factor	[S0]	4.29	
Bearing reaction force	[Fx]	55.126	kN
Bearing reaction force	[Fy]	-20.382	kN
Bearing reaction force	[Fz]	-14.783	kN
Bearing reaction force	[Fr]	57.073	kN (-15.01°)
Bearing reaction moment	[Mx]	183.74	Nm
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm
Bearing reaction moment	[Mz]	685.16	Nm
Bearing reaction moment	[Mr]	709.37	Nm (74.99°)
Oil level	[H]	0.000	mm
Rolling moment of friction	[Mrr]	1.764	Nm
Sliding moment of friction	[Ms]	7.835	Nm
Moment of friction, seals	[Mseal]	0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 17000/1 EN:2018			
Moment of friction flow losses	[Mdrag]	0.000	Nm
Torque of friction	[Mloss]	9.599	Nm
Power loss	[Ploss]	143.174	W

The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 2018.

The calculation is always performed with a coefficient for additives in the lubricant $\mu_{bl}=0.15$.

Displacement of bearing	[ux]	0.000	µm
Displacement of bearing	[uy]	-13.020	µm
Displacement of bearing	[uz]	-0.000	µm
Displacement of bearing	[ur]	0.000	µm
Misalignment of bearing	[rx]	0.029	mrad (0.1°)
Misalignment of bearing	[ry]	0.000	mrad (0°)
Misalignment of bearing	[rz]	-0.189	mrad (-0.65°)
Misalignment of bearing	[rr]	0.191	mrad (0.66°)

Damage (%) [Lreq] (14000.000)

Bin no	B1	B2	
1		117.57	118.27

Σ 117.57 118.27

Utilization (%) [Lreq] (14000.000)

B1	B2
104.97	105.16

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

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

B 1: RollerBearing8
B 2: RollerBearing9

Shaft '

Shaft6', Dokumentationspunkt Documentation point

Y position (mm)	[y]	210.00
Equivalent stress (N/mm ²)	[σv]	0.00
Equivalent stress (Tresca) (N/mm ²)	[σv]	0.00
Bending Stress (N/mm ²)	[σb]	0.00
Normal stress (N/mm ²)	[σzd]	0.00
Shear stress (torsion) (N/mm ²)	[τT]	0.00
Shear stress (shearing force) (N/mm ²)	[τQ]	0.00

	X	Y	Z	R
Displacement (mm)	0.0002	-0.0130	0.0000	0.0002
Rotation (mrad)	0.0294	0.0000	-0.1888	0.1911
Force (kN)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Torque (Nm)	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000

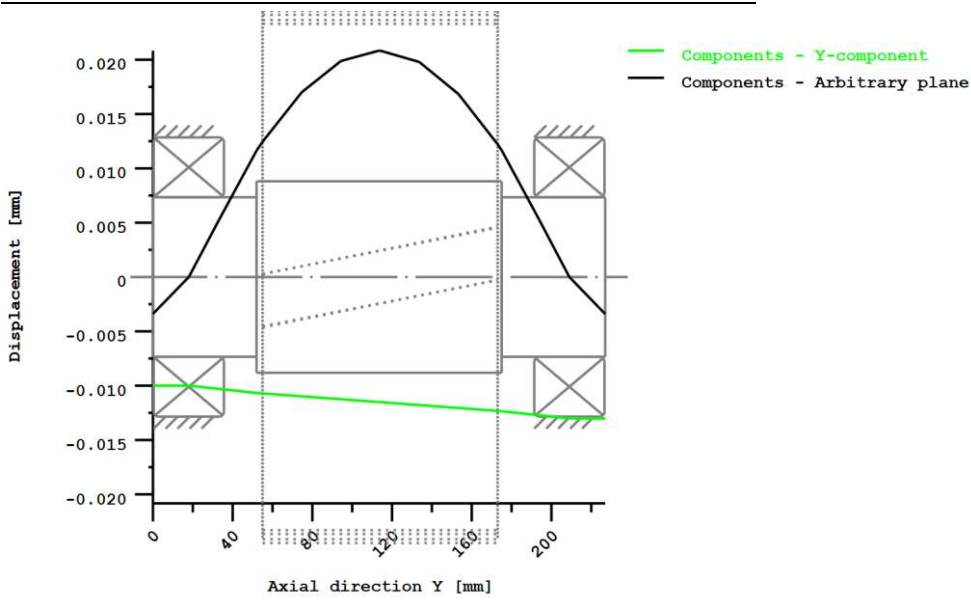
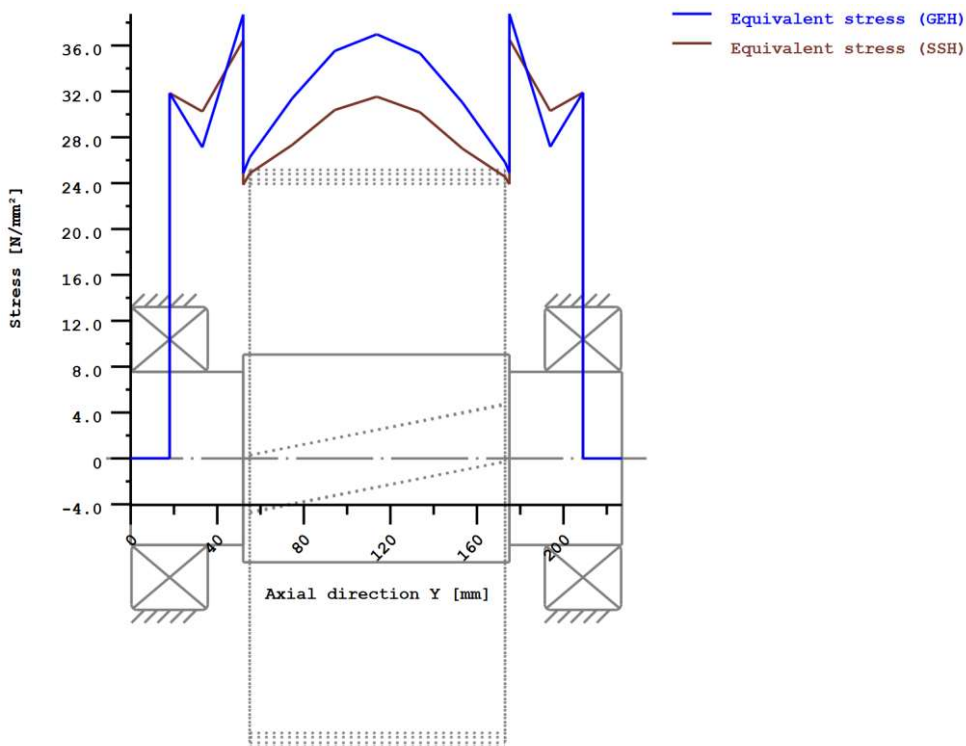


Figure: Deformation (bending etc.) (Arbitrary plane 181.1443432 121)



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

Figure: Equivalent stress

_O.GroupBox.ThreeGears_const1.ThreeHelicalGears_calc1

CALCULATION OF HELICAL GEARS (ASYMMETRICAL)

Drawing or article number:
Gear 1: 0.000.0
Gear 2: 0.000.0
Gear 3: 0.000.0

Calculation method DIN 3990:1987 Method B

		----- Gear 1 -----	Gear 2 -----	Gear 3 ---
Number of idler gears	[No.wheel]	(1)	1	(1)
Power (kW)	[P]		110.429	
Speed (UpM)	[n]	181.6	142.4	100.9
Torque (Nm)	[T]	5806.7	0.0	10452.1
Application factor	[KA]		1.25	
Required service life (h)	[H]		14000.00	
Gear driving (+) / driven (-)		+	-/+	-
Working flank gear 1: Right flank				
Sense of rotation gear 1 clockwise				

1. TOOTH GEOMETRY AND MATERIAL

(geometry calculation according to ISO 21771:2007, DIN ISO 21771)

		----- GEAR 1 -----	----- GEAR 2 -----	----- GEAR 3 ---
Center distance (mm)	[a]		238.000	317.000
Center distance tolerance			ISO 286:2010 Measure js7	ISO 286:2010 Measure js7
Normal module (mm)	[mn]		5.0000	
Pressure angle at normal section (°)	[alfn]		20.0000	
Helix angle at reference circle (°)	[beta]		10.0000	
Number of teeth	[z]		40	51
Facewidth (mm)	[b]	115.00	118.00	115.00
Hand of gear		right	left	right
Accuracy grade	[Q-DIN3961:1978]		6	6
Inner diameter (mm)	[di]	32.00	0.00	0.00
Inner diameter of gear rim (mm)	[dbi]	0.00	0.00	0.00

Material

Gear 1: 18CrNiMo7-6, Case-carburized steel, case-hardened
ISO 6336-5 Figure 9/10 (MQ), Core hardness >=25HRC Jominy J=12mm<HRC28
Gear 2: 18CrNiMo7-6, Case-carburized steel, case-hardened
ISO 6336-5 Figure 9/10 (MQ), Core hardness >=25HRC Jominy J=12mm<HRC28
Gear 3: 18CrNiMo7-6, Case-carburized steel, case-hardened
ISO 6336-5 Figure 9/10 (MQ), Core hardness >=25HRC Jominy J=12mm<HRC28

		----- GEAR 1 -----	----- GEAR 2 -----	----- GEAR 3 ---
Surface hardness			HRC 61	HRC 61
Fatigue strength, tooth root stress (N/mm ²)	[σFlim]	430.00	430.00	430.00
Fatigue strength for Hertzian pressure (N/mm ²)	[σHlim]	1500.00	1500.00	1500.00
Tensile strength (N/mm ²)	[σB]	1200.00	1200.00	1200.00
Yield point (N/mm ²)	[σS]	850.00	850.00	850.00
Young's modulus (N/mm ²)	[E]	206000	206000	206000
Poisson's ratio	[ν]	0.300	0.300	0.300
Roughness average value DS, flank (μm)	[RAH]	0.60	0.60	0.60
Roughness average value DS, root (μm)	[RAF]	3.00	3.00	3.00
Mean roughness height, Rz, flank (μm)	[RZH]	4.80	4.80	4.80
Mean roughness height, Rz, root (μm)	[RZF]	20.00	20.00	20.00

Gear reference profile 1 :

Reference profile 1.25 / 0.38 / 1.0 ISO 53:1998 Profil A
Dedendum coefficient [hfP*] 1.250
Root radius factor [rhofP*] 0.380 (rhofPmax*= 0.472)
Addendum coefficient [haP*] 1.000
Tip radius factor [rhoaP*] 0.000
Protuberance height coefficient [hprP*] 0.000

Protuberance angle	[alfprP]	0.000
Tip form height coefficient	[hFaP*]	0.000
Ramp angle	[alfKP]	0.000

not topping

Gear reference profile 2 :

Reference profile 1.25 / 0.38 / 1.0 ISO 53:1998 Profil A

Dedendum coefficient	[hfP*]	1.250
Root radius factor	[rhofP*]	0.380 (rhofPmax*=0.472)
Addendum coefficient	[haP*]	1.000
Tip radius factor	[rhoaP*]	0.000
Protuberance height coefficient	[hprP*]	0.000
Protuberance angle	[alfprP]	0.000
Tip form height coefficient	[hFaP*]	0.000
Ramp angle	[alfKP]	0.000

not topping

Gear reference profile 3 :

Reference profile 1.25 / 0.38 / 1.0 ISO 53:1998 Profil A

Dedendum coefficient	[hfP*]	1.250
Root radius factor	[rhofP*]	0.380 (rhofPmax*=0.472)
Addendum coefficient	[haP*]	1.000
Tip radius factor	[rhoaP*]	0.000
Protuberance height coefficient	[hprP*]	0.000
Protuberance angle	[alfprP]	0.000
Tip form height coefficient	[hFaP*]	0.000
Ramp angle	[alfKP]	0.000

not topping

Summary of reference profile gears:

Dedendum reference profile	[hfP*]	1.250	1.250	1.250
Tooth root radius Refer. profile	[rofP*]	0.380	0.380	0.380
Addendum Reference profile	[haP*]	1.000	1.000	1.000
Protuberance height coefficient	[hprP*]	0.000	0.000	0.000
Protuberance angle (°)	[alfprP]	0.000	0.000	0.000
Tip form height coefficient	[hFaP*]	0.000	0.000	0.000
Ramp angle (°)	[alfKP]	0.000	0.000	0.000

Type of profile modification:

none (only running-in)

Tip relief (µm)	[Ca]	2.00	2.00	2.00
-----------------	------	------	------	------

Lubrication type

Oil bath lubrication

Type of oil

Oil: ISO-VG 220

Lubricant base

Mineral-oil base

Kinem. viscosity oil at 40 °C (mm²/s)

[nu40] 220.00

Kinem. viscosity oil at 100 °C (mm²/s)

[nu100] 17.50

Specific density at 15 °C (kg/dm³)

[roOil] 0.895

Oil temperature (°C)

[TS] 70.000

----- GEAR 1 ----- GEAR 2 ----- GEAR 3 -----

Overall transmission ratio	[itot]	-1.800		
Gear ratio	[u]	1.275	1.412	
Transverse module (mm)	[mt]	5.077		
Pressure angle at pitch circle (°)	[alft]	20.284		
Working transverse pressure angle (°)	[alfwt]	24.434	22.495	
	[alfwt.e/i]	24.446 /	24.422	22.507 / 22.482
Working pressure angle at normal section (°)	[alfwn]	24.086	22.177	
Helix angle at operating pitch circle (°)	[betaw]	10.296	10.149	
Base helix angle (°)	[betab]	9.391		
Reference center distance (mm)	[ad]	231.010	312.244	
Sum of profile shift coefficients	[Summexi]	1.5391	1.0017	
Profile shift coefficient	[x]	0.8031	0.7360	0.2657
Tooth thickness (Arc) (module) (module)	[sn*]	2.1554	2.1066	1.7642
Tip alteration (mm)	[k*mn]	-0.705	-0.705	-0.252
Reference diameter (mm)	[d]	203.085	258.934	365.554
Base diameter (mm)	[db]	190.492	242.877	342.885
Tip diameter (mm)	[da]	219.706	274.884	377.707
(mm)	[da.e/i]	219.706 / 219.660	274.884 / 274.832	377.707 / 377.650
Tip diameter allowances (mm)	[Ada.e/i]	0.000 / -0.046	0.000 / -0.052	0.000 / -0.057
Tip form diameter (mm)	[dFa]	219.706	274.884	377.707
(mm)	[dFa.e/i]	219.706 / 219.660	274.884 / 274.832	377.707 / 377.650
Active tip diameter (mm)	[dNa.e/i]	219.706 / 219.660	274.884 / 274.832	377.707 / 377.650
Operating pitch diameter (mm)	[dw]	209.231	266.769 / 262.878	371.122
(mm)	[dw.e]	209.251	266.795 / 262.902	371.155
(mm)	[dw.i]	209.211	266.743 / 262.854	371.089

Root diameter (mm)	[df]	198.616	253.794	355.711	
Generating Profile shift coefficient	[xE.e/i]	0.7770 / 0.7633	0.7099 / 0.6962	0.2300 / 0.2135	
Generated root diameter with xE (mm)	[df.e]	198.355	253.533	355.354	
	[df.i]	198.218	253.396	355.189	
Theoretical tip clearance (mm)	[c]	1.250	1.250/ 1.703	1.250	
Tip clearance upper allowance (mm)	[c.e]	1.495	1.498/ 2.018	1.506	
Tip clearance lower allowance (mm)	[c.i]	1.357	1.357/ 1.853	1.352	
Active root diameter (mm)	[dNf]	202.320	258.132/ 257.046	361.287	
	[dNf.e]	202.395	258.201/ 257.139	361.369	
	[dNf.i]	202.282	258.095/ 256.997	361.240	
Root form diameter (mm)	[dFf]	201.187	256.394	358.762	
	[dFf.e/i]	200.946 / 200.820	256.154 / 256.028	358.460 / 358.322	
Reserve (dNf-dFf)/2 (mm)	[cF.e/i]	0.787 / 0.668	0.556 / 0.422	1.524 / 1.390	
Addendum (mm)	[ha = mn * (haP*+x)]		8.311	7.975	6.077
	[ha.e/i]	8.311 /	8.288	7.975 / 7.949	6.077 / 6.048
Dedendum (mm)	[hf = mn * (hfP*-x)]		2.234	2.570	4.921
	[hf.e/i]	2.365 /	2.434	2.700 / 2.769	5.100 / 5.182
Roll angle at dFa (°)	[xsi_dFa.e/i]	32.926 /	32.899	30.369 / 30.342	26.469 / 26.447
Roll angle to dNf (°)	[xsi_dNf.e/i]	20.569 /	20.468	20.672 / 20.598	
	[xsi_dNf.e/i]		19.921 / 19.819	19.065 / 18.997	
Roll angle at dFf (°)	[xsi_dFf.e/i]	19.241 /	19.122	19.202 / 19.108	17.464 / 17.385
Tooth height (mm)	[h]	10.545	10.545	10.998	
Virtual gear no. of teeth	[zn]	41.728	53.203	75.111	
Normal tooth thickness at tip circle (mm)	[san]	3.533	3.844	4.037	
	[san.e/i]	3.456 / 3.377	3.770 / 3.690	3.929 / 3.841	
Normal space width at root circle (mm)	[efn]	3.373	3.384	3.600	
	[efn.e/i]	3.386 / 3.394	3.397 / 3.403	3.627 / 3.639	
Max. sliding velocity at tip (m/s)	[vga]	0.389	0.312/ 0.359	0.413	
Specific sliding at the tip	[zetaaa]	0.374	0.325/ 0.374	0.250	
Specific sliding at the root	[zetaaf]	-0.481	-0.597/ -0.333	-0.597	
Sliding factor on tip	[Kga]	0.195	0.157/ 0.183	0.107	
Sliding factor on root	[Kgf]	-0.157	-0.195/ -0.107	-0.183	
Pitch on reference circle (mm)	[pt]		15.950		
Base pitch (mm)	[pbt]		14.961		
Transverse pitch on contact-path (mm)	[pet]		14.961		
Lead height (mm)	[pz]	3618.342	4613.386	6513.016	
Axial pitch (mm)	[px]	90.459	90.459	90.459	
Length of path of contact (mm)	[ga]		20.654	22.285	
	[ga.e/i]	20.710 /	20.497	22.360 /	22.087
Length T1-A (mm)	[T1A]	34.081	64.366/ 42.081	79.203	
Length T1-B (mm)	[T1B]	39.774	58.673/ 49.405	71.879	
Length T1-C (mm)	[T1C]	43.274	55.174/ 50.288	70.995	
Length T1-D (mm)	[T1D]	49.043	49.405/ 57.042	64.242	
Length T1-E (mm)	[T1E]	54.735	43.712/ 64.366	56.918	
Diameter of single contact point B (mm)	[d-B]	206.434	269.740/ 262.207	371.801	
	[d-B.e]	206.434	269.691/ 262.207	371.744	
	[d-B.i]	206.398	269.828/ 262.165	371.902	
Diameter of single contact point D (mm)	[d-D]	214.261	262.207/ 268.336	366.167	
	[d-D.e]	214.210	262.207/ 268.273	366.167	
	[d-D.i]	214.363	262.165/ 268.458	366.119	
Transverse contact ratio	[eps_a]		1.381	1.490	
Transverse contact ratio with allowances	[eps_a.e/i]	1.384 / 1.370	1.495 / 1.476		
Overlap ratio	[eps_b]		1.271	1.271	
Total contact ratio	[eps_g]		2.652	2.761	
Total contact ratio with allowances	[eps_g.e/i]	2.656 / 2.641	2.766 / 2.748		

2. FACTORS OF GENERAL INFLUENCE

		----- GEAR 1 -----	----- GEAR 2 -----	----- GEAR 3 -----
Nominal circum. force at pitch circle (N)	[Ft]		57184.863	57184.863
Axial force (N)	[Fa]	10083.2		10083.2
Axial force (total) (N)	[Fatot=Fa* 1]		10083.2	10083.2
10083.2				
Radial force (N)	[Fr]		21134.671	21134.671
Normal force (N)	[Fnorm]	61793.6		61793.6
Nominal circumferential force per mm (N/mm)	[w]		497.26	497.26
Only as information: Forces at operating pitch circle:				
Nominal circumferential force (N)	[Ftw]		55505.250	56326.852
Axial force (N)	[Fa]	10083.2	10083.2/ 10083.2	10083.2
Axial force (total) (N)	[Fatot=Fa* 1]			10083.2
10083.2				
Radial force (N)	[Fr]		25218.049	23325.277
Circumferential speed reference circle (m/s)	[v]			1.93
Circumferential speed operating pitch circle (m/s)	[v(dw)]		1.99	1.96

Running-in value (µm)	[yp]	0.675	0.750	
Running-in value (µm)	[yf]	0.750	0.750	
Gear blank factor	[CR]	1.000	1.000	
Correction factor	[CM]	0.800	0.800	
Basic rack factor	[CBS]	0.975	0.975	
Material coefficient	[E/Est]	1.000	1.000	
Singular tooth stiffness (N/mm/µm)	[c']	15.972	15.700	
Meshing stiffness (N/mm/µm)	[cg]	20.530	21.464	
Reduced mass (kg/mm)	[mRed]	0.0990	0.1655	
Resonance speed (min-1)	[nE 1]		3437	2133
Resonance ratio (-)	[N]	0.053	0.067	
Running-in value (µm)	[ya]	0.675	0.750	
Bearing distance l of pinion shaft (mm)	[l]	230.000	236.000	
Distance s of pinion shaft (mm)	[S]	23.000	23.600	
Outside diameter of pinion shaft (mm)	[dsh]	115.000	118.000	
Load according DIN 3990-1:1987 Diagram 6.8 (0:6.8a, 1:6.8b, 2:6.8c, 3:6.8d, 4:6.8e)	[-]		0	0
Factor K' according to DIN 3990-1:1987 diagram 6.8	[K']	0.80	0.80	
Stiffening (0: without, 1: with)			0	0
Tooth trace deviation (active) (µm)	[Fby]	4.67	4.67	
from deformation of shaft (µm)	[fsh*B1]	9.26	7.26	
(fsh (µm) = 9.26/ 7.26, B1= 1.00/ 1.00, fHb5 (µm) = 8.00/ 8.00)				
Tooth trace (0:without, 1:crowned, 2:Tip relief, 3:full modification) (4:Slightly crowned, 5:Helix angle modification, 6:Helix angle modification with crowning)			0	0
Contact pattern (0:inappropriate, 1:favorable, 2:optimal)			1	1
from production tolerances (µm)	[fma*B2]	11.00	11.00	
(B2= 1.00/ 1.00)				
Tooth trace deviation, theoretical (µm)	[Fbx]	5.50	5.50	
Running-in value y.b (µm)	[yb]	0.82	0.82	
Dynamic factor	[KV]	1.01	1.01	
Face load factor - flank	[KHb]	1.08	1.08	
- Tooth root	[KFb]	1.07	1.07	
- Scuffing	[KBb]	1.08	1.08	
Transverse load factor - flank	[KHα]	1.03	1.03	
- Tooth root	[KFα]	1.03	1.03	
- Scuffing	[KBα]	1.03	1.03	
Helical load factor scuffing	[Kbg]	1.25	1.26	
Number of load cycles (in mio.)	[NL]	152.5	119.6	84.7

3. TOOTH ROOT STRENGTH

Calculation of Tooth form coefficients according method: B

		----- GEAR 1 -----	GEAR 2 -----	GEAR 3 ---	
Calculated with profile shift	[x]	0.8031	0.7360	0.2657	
Tooth form factor	[YF]	1.14	1.20/ 1.03	1.31	
Stress correction factor	[YS]	2.43	2.38/ 2.54	2.19	
Bending moment arm (mm)	[hF]	5.40	5.59/ 4.80	5.71	
Load application angle (°)	[alfFn]	25.00	23.96/ 23.20	21.33	
Tooth thickness at root (mm)	[sFn]	11.71	11.68/ 11.68	11.39	
Tooth root radius (mm)	[roF]	1.91	1.92/ 1.92	2.17	
(hF* = 1.080/ 1.118/ 0.960/ 1.142 sFn* = 2.342/ 2.336/ 2.336/ 2.278)					
(roF* = 0.381/ 0.384/ 0.384/ 0.434 dsFn = 200.320/ 255.545/ 255.545/ 357.612 alfsFn = 30.0/ 30.0/ 30.0/ 30.0)					
Contact ratio factor	[Yeps]		1.00	1.00	
Helix angle factor	[Ybet]		0.92	0.92	
Effective facewidth (mm)	[beff]	115.00	118.00/ 118.00	115.00	
Nominal stress at tooth root (N/mm²)	[sigFO]	252.39	252.95/ 233.13	262.01	
Tooth root stress (N/mm²)	[sigF]	350.01	350.78/ 326.65	367.12	
Permissible bending stress at root of Test-gear					
Notch sensitivity factor	[YdrelT]	1.005	1.005/ 1.005	1.001	
Surface factor	[YRrelT]	0.957	0.957	0.957	
size factor (Tooth root)	[YX]	1.000	1.000	1.000	
Finite life factor	[YNT]	1.000	1.000	1.000	
Alternating bending factor (mean stress influence coefficient)	[YM]		1.000	0.700	1.000
Stress correction factor	[Yst]		2.00		

Yst*sigFlim (N/mm ²)	[sigFE]	860.00	860.00	860.00
Permissible tooth root stress (N/mm ²)	[sigFP=sigFG/SFmin]	590.74	413.42/413.42	588.38
Limit strength tooth root (N/mm ²)	[sigFG]	827.04	578.78/578.78	823.74
Required safety	[SFmin]	1.40	1.40	1.40
Safety for tooth root stress	[SF=sigFG/sigF]	2.36	1.65/ 1.77	2.24
Transmittable power (kW)	[kWRating]	186.38	130.15/ 139.76	176.99

4. SAFETY AGAINST PITTING (TOOTH FLANK)

		----- GEAR 1 -----	GEAR 2 -----	GEAR 3 ---
Zone factor	[ZH]		2.22	2.33
Elasticity factor ($\sqrt{N/mm^2}$)	[ZE]		189.81	189.81
Contact ratio factor	[Zeps]		0.851	0.819
Helix angle factor	[Zbet]		0.992	0.992
Effective facewidth (mm)	[beff]		115.00	115.00
Nominal contact stress (N/mm ²)	[sigH0]		744.50	650.56
Contact stress at operating pitch circle (N/mm ²)	[sigHw]		879.71	772.93
Single tooth contact factor	[ZB,ZD]	1.00	1.00/ 1.00	1.00
Contact stress (N/mm ²)	[sigHB, sigHD]	879.71	879.71/772.93	772.93
Lubrication coefficient at NL	[ZL]	1.020	1.020/ 1.020	1.020
Speed coefficient at NL	[ZV]	0.964	0.964/ 0.964	0.964
Roughness coefficient at NL	[ZR]	0.986	0.986/ 0.993	0.993
Material pairing coefficient at NL	[ZW]	1.000	1.000/ 1.000	1.000
Finite life factor	[ZNT]	1.000	1.000	1.000
Limited pitting is permitted:	No			
Size factor (flank)	[ZX]	1.000	1.000	1.000
Permissible contact stress (N/mm ²)	[sigHP=sigHG/SHmin]	1453.09	1453.09/ 1464.24	1464.24
Pitting stress limit (N/mm ²)	[sigHG]	1453.09	1453.09/ 1464.24	1464.24
Required safety	[SHmin]	1.00	1.00	1.00
Safety factor for contact stress at operating pitch circle	[SHw]	1.65	1.65/ 1.89	1.89
Safety for stress at single tooth contact (Safety regarding transmittable torque)	[SHBD=sigHG/sigHBD]	1.65	1.65/ 1.89	1.89
	[(SHBD)^2]	2.73	2.73/ 3.59	3.59
Transmittable power (kW)	[kWRating]	301.29	301.29/ 396.30	396.30

4b. MICROPITTING ACCORDING TO ISO/TR 15144-1:2014

Pairing Gear 1- 2:
Calculation did not run. (Lubricant: Load stage micropitting test is unknown.)

Pairing Gear 2- 3:
Calculation did not run. (Lubricant: Load stage micropitting test is unknown.)

5. SCUFFING LOAD CAPACITY

Calculation method according to DIN 3990:1987

Lubrication coefficient (for lubrication type)	[XS]	1.000		
Scuffing test and load stage	[FZGtest]	FZG - Test A / 8.3 / 90 (ISO 14635 - 1)	12	
Relative structure coefficient (Scuffing)	[XWrelT]	1.000	1.000	
Thermal contact factor (N/mm/s ^{0.5} /K)	[BM]	13.780	13.780	13.780
Relevant tip relief (μm)	[Ca]	2.00	2.00	2.00
Optimal tip relief (μm)	[Ceff]		30.28	28.96
Ca taken as optimal in the calculation (0=no, 1=yes)		0		0
Effective facewidth (mm)	[beff]		115.000	115.000
Applicable circumferential force/facewidth (N/mm)	[wBt]		866.056	885.155
Angle factor	[Xalfbet]		1.038	1.011
Flash temperature-criteria				
Tooth mass temperature (°C) (theMB = theoil + XS*0.47*thefflmax)	[theMB]		81.74	79.98
Maximum flash temperature (°C)	[thefflmax]		24.99	21.23
Scuffing temperature (°C)	[theS]		408.58	408.58
Coordinate gamma (point of highest temp.)	[Gamma]		0,133	0,134
(1) [Gamma.A]=-0.212 [Gamma.E]=0.265				
(2) [Gamma.A]=-0.163 [Gamma.E]=0.280				
Highest contact temp. (°C)	[theB]		106.73	101.20

Flash factor ($^{\circ}\text{K}^{\circ}\text{N}^{\wedge}-.75^{\circ}\text{s}^{\wedge}.5^{\circ}\text{m}^{\wedge}-.5^{\circ}\text{mm}$)	[XM]	50.058	50.058
Geometry factor	[XB]	0.085	0.082
Load sharing factor	[XGam]	1.000	1.000
Dynamic viscosity (mPa*s)	[etaM]	26.93	28.64 (70.0 °C)
Coefficient of friction	[mym]	0.100	0.096
Required safety	[SBmin]		2.000
Safety factor for scuffing (flash temperature)	[SB]	9.216	10.848
Integral temperature-criteria			
Tooth mass temperature (°C)	[theMC]	78.94	77.04
(theMC = theoil + XS*0.70*theflaint)			
Mean flash temperature (°C)	[theflaint]	12.77	10.05
Integral scuffing temperature (°C)	[theSint]	408.58	408.58
Flash factor ($^{\circ}\text{K}^{\circ}\text{N}^{\wedge}-.75^{\circ}\text{s}^{\wedge}.5^{\circ}\text{m}^{\wedge}-.5^{\circ}\text{mm}$)	[XM]	50.058	50.058
Contact ratio factor	[Xeps]	0.288	0.254
Dynamic viscosity (mPa*s)	[etaOil]	41.90	41.90
Mean coefficient of friction	[mym]	0.090	0.088
Geometry factor	[XBE]	0.170	0.170
Meshing factor	[XQ]	1.000	1.000
Tip relief factor	[XCa]	1.011	1.024
Integral tooth flank temperature (°C)	[theint]	98.09	92.12
Required safety	[SSmin]		1.800
Safety factor for scuffing (intg.-temp.)	[SSint]	4.17	4.44
Safety referring to transmittable torque	[SSL]	12.05	15.31

6. MEASUREMENTS FOR TOOTH THICKNESS

		----- GEAR 1 -----	GEAR 2 -----	GEAR 3 ---	DIN 3967 cd25
Tooth thickness tolerance		DIN 3967 cd25		DIN 3967 cd25	
Tooth thickness allowance (normal section) (mm)	[As.e/i]	-0.095/ -0.145	-0.095/ -0.145	-0.130/ -0.190	
Number of teeth spanned	[k]	6.000	8.000	9.000	
Base tangent length (no backlash) (mm)	[Wk]	86.857	116.953	131.642	
Actual base tangent length (span) (mm)	[Wk.e/i]	86.767/ 86.720	116.864/ 116.817	131.519/ 131.463	
Diameter of measuring circle (mm)	[dMWk.m]	208.833	268.845	366.606	
Theoretical diameter of ball/pin (mm)	[DM]	9.620	9.235	8.573	
Effective diameter of ball/pin (mm)	[DMeff]	10.000	10.000	9.000	
Radial single-ball measurement backlash free (mm)	[MrK]	113.096	140.950	190.746	
Radial single-ball measurement (mm)	[MrK.e/i]	113.001/ 112.950	140.849/ 140.796	190.588/	
		190.514			
Diameter of measuring circle (mm)	[dMMr.m]	211.482	267.372	368.743	
Diametral measurement over two balls without clearance (mm)	[MdK]	226.193	281.771	381.493	
Diametral two ball measure (mm)	[MdK.e/i]	226.001/ 225.900	281.569/ 281.463	381.175/	
		381.028			
Measurement over pins according to DIN 3960 (mm)	[MdR.e/i]	226.001/ 225.900	281.698/ 281.592	381.175/	
		381.028			
Measurement over 2 pins (free) according to AGMA 2002 (mm)	[dk2f.e/i]	0.000/ 0.000	281.565/ 281.459	0.000/	
		0.000			
Measurement over 2 pins (axial) according to AGMA 2002 (mm)	[dk2t.e/i]	0.000/ 0.000	281.825/ 281.719	0.000/	
		0.000			
Measurement over 3 pins (axial) according to AGMA 2002 (mm)	[dk3A.e/i]	226.001/ 225.900	281.698/ 281.592	381.175/	
		381.028			
Effective dimensions over 3 pins (mm)	[Md3R.e/i]	0.000/ 0.000	0.000/ 0.000	0.000/ 0.000	
Tooth thickness (chordal) in pitch diameter (mm)	[sc]	10.772	10.530	8.820	
(mm)	[sc.e/i]	10.677/ 10.627	10.435/ 10.385	8.690/	
		8.630			
Reference chordal height from da.m (mm)	[ha]	8.438	8.066	6.114	
Tooth thickness (Arc) (mm)	[sn]	10.777	10.533	8.821	
(mm)	[sn.e/i]	10.682/ 10.632	10.438/ 10.388	8.691/	
		8.631			
Backlash free center distance (mm)	[aControl.e/i]	237.781/ 237.665	316.719/ 316.581		
Backlash free center distance, allowances (mm)	[ita]	-0.219/ -0.335	-0.281/ -0.419		
dNf.i with aControl (mm)	[dNf0.i]	201.778	256.335	360.601	
Reserve (dNf0.i-dFf.e)/2 (mm)	[cF0.i]	0.416	0.091	1.071	
Tip clearance (mm)	[c0.i(aControl)]	1.045	1.045	0.961	
Center distance allowances (mm)	[Aa.e/i]	0.023/ -0.023	0.029/ -0.029		
Circumferential backlash from Aa (mm)	[jtw_Aa.e/i]	0.021/ -0.021	0.024/ -0.024		
Radial backlash (mm)	[jrw]	0.358/ 0.196	0.447/ 0.252		

Circumferential backlash (transverse section) (mm)	[jtw]	0.324/ 0.178	0.369/ 0.208
Normal backlash (mm)	[jnw]	0.288/ 0.163	0.334/ 0.192
Angle of rotation on input with fixed output.: Entire torsional angle (°)	[j.tSys]	0.3853/ 0.2147	

7. GEAR ACCURACY

		----- GEAR 1 -----	GEAR 2 -----	GEAR 3 ---	
According to DIN 3961:1978					
Accuracy grade	[Q-DIN3961]		6		6
Profile form deviation (µm)	[ff]	10.00		10.00	10.00
Profile slope deviation (µm)	[fHa]	7.00		7.00	7.00
Total profile deviation (µm)	[Ff]	13.00		13.00	13.00
Helix form deviation (µm)	[fbf]	12.00		12.00	12.00
Helix slope deviation (µm)	[fHb]	11.00		11.00	11.00
Total helix deviation (µm)	[Fb]	16.00		16.00	16.00
Normal base pitch deviation (µm)	[fpe]	9.00		9.00	10.00
Single pitch deviation (µm)	[fp]	9.00		9.00	10.00
Adjacent pitch difference (µm)	[fu]	11.00		11.00	12.00
Total cumulative pitch deviation (µm)	[Fp]	34.00		34.00	40.00
Sector pitch deviation over z/8 pitches (µm)	[Fpz/8]	22.00		22.00	25.00
Runout (µm)	[Fr]	25.00		25.00	28.00
Tooth Thickness Variation (µm)	[Rs]	15.00		15.00	16.00
Single flank composite, total (µm)	[F'i]	38.00		38.00	42.00
Single flank composite, tooth-to-tooth (µm)	[fi']	15.00		15.00	16.00
Radial composite, total (µm)	[F'']	28.00		28.00	32.00
Radial composite, tooth-to-tooth (µm)	[fi'']	12.00		12.00	14.00
Axis alignment tolerances (recommendation acc. to ISO TR 10064-3:1996, Quality 6)					
Maximum value for deviation error of axis (µm)	[fSigbet]		17.00		18.47
Maximum value for inclination error of axes (µm)	[fSigdel]		34.00		36.94

8. ADDITIONAL DATA

Minimum possible center distance (mm): a13 >299.707

Mass (kg)	[m]	30.215	50.706	95.103
Total mass (kg)	[m]		176.023	
Moment of inertia (system with reference to the drive): calculation without consideration of the exact tooth shape				
single gears ((da+df)/2...di) (kg*m ²)	[TraeghMom]	0.16910	0.44288	1.59862
System ((da+df)/2...di) (kg*m ²)	[TraeghMom]	0.93494		
Torsional stiffness at driving gear with fixed driven gear:				
Torsional stiffness (MNm/rad)	[cr]	13.558		
Torsion when subjected to nominal torque (°)	[delcr]	0.025		
Mean coeff. of friction (acc. Niemann)	[mum]	0.058	0.054	
Wear sliding coef. by Niemann	[zetw]	0.486	0.489	
Meshing power (kW)		0.000	0.000	
Gear power loss (kW)		0.533	0.439	
Total power loss (kW)			0.972	
Total efficiency			0.991	
Sound pressure level (according to Masuda, without contact analysis) [dB(A)]		81.0	80.9	

9. MODIFICATIONS AND TOOTH FORM DEFINITION

Data for the tooth form calculation :

Data not available.

Please run the calculation in the "Tooth form" tab and open the main report again.

10. SERVICE LIFE, DAMAGE

Required safety for tooth root	[SFmin]	1.40
Required safety for tooth flank	[SHmin]	1.00
Service life (calculated with required safeties):		
System service life (h)	[Hatt]	> 1000000

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

Damage calculated on the basis of the required service life (14000.0 h)
 F1% F2% F3% H1% H2% H3%
 0.00 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

Calculation of the factors required to define reliability R(t) according to B. Bertsche with Weibull distribution; t in (h):

$$R(t) = 100 * \text{Exp}(-((t * \text{fac} - t_0) / (T - t_0))^b) \%$$

Gear		p	fac	b	t0	T	R(H)%
1	Tooth root	1	10896	1.7	9.654e+029	1.484e+030	100.00
1	Tooth flank	1	10896	1.3	9.014e+029	4.295e+030	100.00
2	Tooth root	1	8546	1.7	9.654e+029	1.484e+030	100.00
2	Tooth flank	1	8546	1.3	9.014e+029	4.295e+030	100.00
3	Tooth root	1	6053	1.7	9.654e+029	1.484e+030	100.00
3	Tooth flank	1	6053	1.3	9.014e+029	4.295e+030	100.00

Reliability of the configuration for required service life (%) 100.00 (Bertsche)

REMARKS:

- Specifications with [.,e/i] imply: Maximum [e] and Minimal value [i] with consideration of all tolerances
- Specifications with [.,m] imply: Mean value within tolerance
- For the backlash tolerance, the center distance tolerances and the tooth thickness deviation are taken into account. Shown is the maximal and the minimal backlash corresponding the largest resp. the smallest allowances
- The calculation is done for the operating pitch circle.
- Details of calculation method:
 - cg according to method B
 - KV according to method B
 - KHb, KFb according method C
 - KHa, KFa according to method B

_O.GroupBox.vreteno.frez_vret.z7.FeatherKey_calc4

**Warning: Calculation not consistent.
Results are probably not valid!**

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

1-> key width is not defined.

Keys [M02a]

Calculation method: DIN 6892-C:2012

Label	Own Input	
Key width (mm)	[b]	0.00
Key height (mm)	[h]	0.00
Shaft diameter (mm)	[d]	220.00
Nominal torque (Nm)	[Tn]	10038.16
Application factor	[KA]	1.00
equivalent torque (Nm)	[Teq]	0.00
Maximum torque (Nm)	[Tmax]	0.00
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
equivalent circumferential stress (N)	[Feq]	0.00
Maximal circumferential force (N)	[Fmax]	0.00
Contact coefficient for equivalent surface pressure	[Kneq]	0.00
Contact coefficient for maximal surface pressure	[Knmax]	0.00
Friction factor	[KReq]	0.000
Friction factor	[KR]	0.000
Groove depth shaft (minimal value) (mm)	[t1]	0.00
Supporting key length (mm)	[ltr]	115.00
Supporting key height (mm)	[h-t1]	1.00
Pressure stress (N/mm ²)	[peq]	0.00
Pressure stress (N/mm ²)	[pmax]	0.00

Shaft

Material	C45 (1)
Type	
Treatment	
Tensile strength (N/mm ²)	[Rm] 700.00 (d= 0- 16mm)
Yield point (N/mm ²)	[Re] 490.00 (d= 0- 16mm)
Permissible surface pressure (N/mm ²)	[pzul] 0.00
Load peak frequency coefficient	[fL] 0.00
Safety against flow (fw * pzul / peq)	[SFeq] 0.00
Safety against flow (fL * pzul / pmax)	[SFmax] 0.00
Minimal safety	[SF] 0.00

Hub

Material	C45 (1)
Type	
Treatment	
Tensile strength (N/mm ²)	[Rm] 700.00 (d= 0- 16mm)
Yield point (N/mm ²)	[Re] 490.00 (d= 0- 16mm)
Permissible surface pressure (N/mm ²)	[pzul] 0.00
Load peak frequency coefficient	[fL] 0.00
Safety against flow (fw * pzul / peq)	[SFeq] 0.00
Safety against flow (fL * pzul / pmax)	[SFmax] 0.00

Minimal safety [SF] 0.00

Key

Material	C45 (1)	
Type		
Treatment		
Tensile strength (N/mm ²)	[Rm]	700.00 (d= 0- 16mm)
Yield point (N/mm ²)	[Re]	490.00 (d= 0- 16mm)
Permissible surface pressure (N/mm ²)	[pzul]	0.00
Load peak frequency coefficient	[fL]	0.00
Safety against flow (fw * pzul / peq)	[SFeq]	0.00
Safety against flow (fL * pzul / pmax)	[SFmax]	0.00
Minimal safety	[SF]	0.00

Remarks:

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

_O.GroupBox.vreteno.vreteno_calc

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

1-> Shaft 'frez_vret', Rolling bearing 'RollerBearing10: this bearing is hybrid and the internal geometry method cannot be used, because ISO/TS 16281 is valid for "bearing-grade" steel only.
The classic calculation method will be used instead.

2-> Shaft 'frez_vret', Rolling bearing 'RollerBearing11: this bearing is hybrid and the internal geometry method cannot be used, because ISO/TS 16281 is valid for "bearing-grade" steel only.
The classic calculation method will be used instead.

3-> Shaft 'frez_vret', Rolling bearing 'RollerBearing12: this bearing is hybrid and the internal geometry method cannot be used, because ISO/TS 16281 is valid for "bearing-grade" steel only.
The classic calculation method will be used instead.

4-> Shaft 'frez_vret', Rolling bearing 'RollerBearing13: this bearing is hybrid and the internal geometry method cannot be used, because ISO/TS 16281 is valid for "bearing-grade" steel only.
The classic calculation method will be used instead.

5-> Shaft 'vrt_vret', Rolling bearing 'RollerBearing15: this bearing is hybrid and the internal geometry method cannot be used, because ISO/TS 16281 is valid for "bearing-grade" steel only.
The classic calculation method will be used instead.

6-> Shaft 'vrt_vret', Rolling bearing 'RollerBearing17: this bearing is hybrid and the internal geometry method cannot be used, because ISO/TS 16281 is valid for "bearing-grade" steel only.
The classic calculation method will be used instead.

7-> Shaft 'frez_vret', Rolling bearing 'RollerBearing10':
The minimal load of the bearing is not achieved!
(P = 0.5 kN, Pmind = 2.6 kN, Condition: P/C > 1.000 %)

8-> The moment of friction for hybrid bearings cannot be calculated
because these bearings are not included in the calculation methods listed in the rolling bearing catalog.

9-> The speed limit of the bearing 'Shaft 'frez_vret', Rolling bearing 'RollerBearing10" is not known (in the database).

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

10-> Shaft 'frez_vret', Rolling bearing 'RollerBearing11':
The minimal load of the bearing is not achieved!
(P = 1.1 kN, Pmind = 2.6 kN, Condition: P/C > 1.000 %)

11-> The moment of friction for hybrid bearings cannot be calculated
because these bearings are not included in the calculation methods listed in the rolling bearing catalog.

12-> The speed limit of the bearing 'Shaft 'frez_vret', Rolling bearing 'RollerBearing11" is not known (in the database).

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

13-> The moment of friction for hybrid bearings cannot be calculated
because these bearings are not included in the calculation methods listed in the rolling bearing catalog.

14-> The speed limit of the bearing 'Shaft 'frez_vret', Rolling bearing 'RollerBearing12" is not known (in the database).

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

15-> The moment of friction for hybrid bearings cannot be calculated
because these bearings are not included in the calculation methods listed in the rolling bearing catalog.

16-> The speed limit of the bearing 'Shaft 'frez_vret', Rolling bearing 'RollerBearing13" is not known (in the database).

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

17-> The frictional moment Mdrag (drag, churning or splashing losses) experienced by grease lubricated rolling bearings have an effect on the losses. Unfortunately the main SKF catalog does not provide the details necessary for calculation.
The Mdrag frictional moment is set to 0 for grease lubricated rolling bearings.

18-> Shaft 'vrt_vret', Rolling bearing 'RollerBearing15':
The minimal load of the bearing is not achieved!
(P = 0.2 kN, Pmind = 1.5 kN, Condition: P/C > 1.000 %)

19-> The moment of friction for hybrid bearings cannot be calculated

because these bearings are not included in the calculation methods listed in the rolling bearing catalog.

20-> The speed limit of the bearing 'Shaft 'vrt_vret', Rolling bearing 'RollerBearing15" is not known (in the database).

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

21-> Shaft 'vrt_vret', Rolling bearing 'RollerBearing16':

The minimal load of the bearing is not achieved!

(P = 0.0 kN, Pmind = 1.1 kN, Condition: P/C > 1.000 %)

22-> The frictional moment Mdrag (drag, churning or splashing losses) experienced by grease lubricated rolling bearings have an effect on the losses. Unfortunately the main SKF catalog does not provide the details necessary for calculation.

The Mdrag frictional moment is set to 0 for grease lubricated rolling bearings.

23-> Shaft 'vrt_vret', Rolling bearing 'RollerBearing17':

The minimal load of the bearing is not achieved!

(P = 0.2 kN, Pmind = 1.5 kN, Condition: P/C > 1.000 %)

24-> The moment of friction for hybrid bearings cannot be calculated

because these bearings are not included in the calculation methods listed in the rolling bearing catalog.

25-> The speed limit of the bearing 'Shaft 'vrt_vret', Rolling bearing 'RollerBearing17"' is not known (in the database).

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

Analysis of shafts, axle and beams

Input data

Coordinate system shaft: see picture W-002

Label	frez_vret
Drawing	
Initial position (mm)	1515.000
Length (mm)	2100.000
Speed (1/min)	100.89
Sense of rotation: counter clockwise	

Material	C45 (1)
Young's modulus (N/mm ²)	206000.000
Poisson's ratio nu	0.300
Density (kg/m ³)	7830.000
Coefficient of thermal expansion (10 ⁻⁶ /K)	11.500
Temperature (°C)	20.000
Weight of shaft (kg)	300.264
Weight of shaft, including additional masses (kg)	300.264
Mass moment of inertia (kg*m ²)	3.434
Momentum of mass GD2 (Nm ²)	134.753

Label	vrt_vret
Drawing	
Initial position (mm)	0.000
Length (mm)	3715.000
Speed (1/min)	100.89
Sense of rotation: counter clockwise	

Material	C45 (1)
Young's modulus (N/mm ²)	206000.000
Poisson's ratio nu	0.300
Density (kg/m ³)	7830.000
Coefficient of thermal expansion (10 ⁻⁶ /K)	11.500
Temperature (°C)	20.000
Weight of shaft (kg)	703.294
Weight of shaft, including additional masses (kg)	703.294
Mass moment of inertia (kg*m ²)	2.769
Momentum of mass GD2 (Nm ²)	108.671

The direction of the weight is not considered

Consider deformations due to shearing

Shear correction factor	1.100
-------------------------	-------

Contact angle of rolling bearings is considered
Tolerance field: Mean value
Reference temperature (°C) 20.000

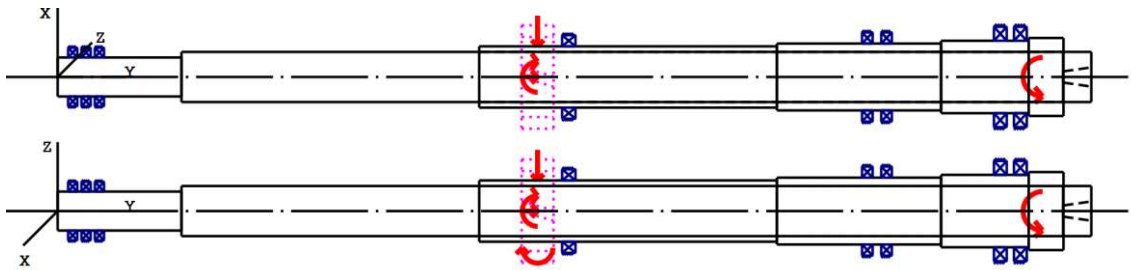


Figure: Load applications

Shaft definition (frez_vret)

Outer contour

<u>Cylinder (Cylinder)</u> 0.000mm ... 1070.000mm		
Diameter (mm)	[d]	220.0000
Length (mm)	[l]	1070.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000
<u>Cylinder (Cylinder)</u> 1070.000mm ... 1660.000mm		
Diameter (mm)	[d]	240.0000
Length (mm)	[l]	590.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000
<u>Cylinder (Cylinder)</u> 1660.000mm ... 1975.000mm		
Diameter (mm)	[d]	260.0000
Length (mm)	[l]	315.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000
<u>Cylinder (Cylinder)</u> 1975.000mm ... 2100.000mm		
Diameter (mm)	[d]	280.0000
Length (mm)	[l]	125.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000

Inner contour

<u>Cylindrical bore (Cylindrical bore)</u> 0.000mm ... 2100.000mm		
Diameter (mm)	[d]	180.0000
Length (mm)	[l]	2100.0000
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000

Forces

Type of force element

Coupling

Label in the model		Coupling7(Boundary2)
Position on shaft (mm)	[Ylocal]	2025.0000
Position in global system (mm)	[Yglobal]	3540.0000
Effective diameter (mm)		30.0000
Radial force factor (-)		-0.0000
Direction of the radial force (°)		180.0000
Axial force factor (-)		-0.0000
Length of load application (mm)		10.0000
Power (kW)		106.0560 driving (output)
Torque (Nm)		10038.1640
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*m ²)		0.0000
Mass moment of inertia Jxx (kg*m ²)		0.0000
Mass moment of inertia Jzz (kg*m ²)		0.0000
Eccentricity (mm)		0.0000

Type of force element		Cylindrical gear
Label in the model		z7
Position on shaft (mm)	[Ylocal]	210.0000
Position in global system (mm)	[Yglobal]	1725.0000
Operating pitch diameter (mm)		371.1220
Helix angle (°)		10.1492 right
Working pressure angle at normal section (°)		22.1771
Position of contact (°)		90.0000
Length of load application (mm)		115.0000
Power (kW)		106.0560 driven (input)
Torque (Nm)		-10038.1638
Axial force (N)		9683.9381
Shearing force X (N)		-54096.3080
Shearing force Z (N)		-22401.5981
Bending moment X (Nm)		-1796.9610
Bending moment Z (Nm)		0.0000

Bearing

Label in the model		RollerBearing10
Bearing type		SKF 71952 ACD/HCP4A
Bearing type		Angular contact ball bearing (single row) Hybrid bearings
Bearing position (mm)	[Ylocal]	1945.000
Bearing position (mm)	[Yglobal]	3460.000
Attachment of external ring		Set fixed bearing left
Inner diameter (mm)	[d]	260.000
External diameter (mm)	[D]	360.000
Width (mm)	[b]	46.000
Corner radius (mm)	[r]	2.100
The bearing pressure angle will be considered in the calculation		
Position (center of pressure)		(mm) 2017.5000
Basic static load rating (kN)	[C ₀]	400.000
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	265.000
Fatigue load rating (kN)	[C _u]	9.700
Values for approximated geometry:		
Basic dynamic load rating (kN)	[C _{theol}]	0.000
Basic static load rating (kN)	[C _{0theol}]	0.000
Correction factor Basic dynamic load rating	[f _C]	1.000
Correction factor Basic static load rating	[f _{C0}]	1.000

Label in the model		RollerBearing11
Bearing type		SKF 71952 ACD/HCP4A
Bearing type		Angular contact ball bearing (single row) Hybrid bearings

Bearing position (mm)	[ylokal]	1873.000	
Bearing position (mm)	[yglobal]	3388.000	
Attachment of external ring		Set fixed bearing left	
Inner diameter (mm)	[d]	260.000	
External diameter (mm)	[D]	360.000	
Width (mm)	[b]	46.000	
Corner radius (mm)	[r]	2.100	
The bearing pressure angle will be considered in the calculation			
Position (center of pressure)			(mm) 1945.5000
Basic static load rating (kN)	[C ₀]	400.000	
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	265.000	
Fatigue load rating (kN)	[C _u]	9.700	
Values for approximated geometry:			
Basic dynamic load rating (kN)	[C _{theo}]	0.000	
Basic static load rating (kN)	[C _{0theo}]	0.000	
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 71948 ACD/HCP4A
Bearing type	Angular contact ball bearing (single row)
Bearing type	Hybrid bearings

Bearing position (mm)	[ylokal]	1464.000	
Bearing position (mm)	[yglobal]	2979.000	
Attachment of external ring		Set fixed bearing right	
Inner diameter (mm)	[d]	240.000	
External diameter (mm)	[D]	320.000	
Width (mm)	[b]	38.000	
Corner radius (mm)	[r]	2.100	
The bearing pressure angle will be considered in the calculation			
Position (center of pressure)			(mm) 1398.5000
Basic static load rating (kN)	[C ₀]	305.000	
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	216.000	
Fatigue load rating (kN)	[C _u]	7.800	
Values for approximated geometry:			
Basic dynamic load rating (kN)	[C _{theo}]	0.000	
Basic static load rating (kN)	[C _{0theo}]	0.000	
Correction factor Basic dynamic load rating	[f _C]	1.000	
Correction factor Basic static load rating	[f _{C0}]	1.000	

Label in the model	RollerBearing13
Bearing type	SKF 71948 ACD/HCP4A
Bearing type	Angular contact ball bearing (single row)
Bearing type	Hybrid bearings

Bearing position (mm)	[ylokal]	1395.000	
Bearing position (mm)	[yglobal]	2910.000	
Attachment of external ring		Set fixed bearing right	
Inner diameter (mm)	[d]	240.000	
External diameter (mm)	[D]	320.000	
Width (mm)	[b]	38.000	
Corner radius (mm)	[r]	2.100	
The bearing pressure angle will be considered in the calculation			
Position (center of pressure)			(mm) 1329.5000
Basic static load rating (kN)	[C ₀]	305.000	
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	216.000	
Fatigue load rating (kN)	[C _u]	7.800	
Values for approximated geometry:			

Basic dynamic load rating (kN)	[C _{theo}]	0.000
Basic static load rating (kN)	[C _{0theo}]	0.000
Correction factor Basic dynamic load rating	[f _C]	1.000
Correction factor Basic static load rating	[f _{C0}]	1.000

Label in the model		RollerBearing14
Bearing type		SKF NU 2944 ECMA
Bearing type		Cylindrical roller bearing (single row)
Bearing position (mm)	[y _{lokal}]	322.000
Bearing position (mm)	[y _{global}]	1837.000
Attachment of external ring		Free bearing
Inner diameter (mm)	[d]	220.000
External diameter (mm)	[D]	300.000
Width (mm)	[b]	48.000
Corner radius (mm)	[r]	2.100
Basic static load rating (kN)	[C ₀]	830.000
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	457.000
Fatigue load rating (kN)	[C _u]	83.000
Values for approximated geometry:		
Basic dynamic load rating (kN)	[C _{theo}]	0.000
Basic static load rating (kN)	[C _{0theo}]	0.000
Correction factor Basic dynamic load rating	[f _C]	1.000
Correction factor Basic static load rating	[f _{C0}]	1.000

Shaft definition (vrt_vret)

Outer contour

<u>Cylinder (Cylinder)</u>			0.000mm ... 445.000mm
Diameter (mm)	[d]	140.0000	
Length (mm)	[l]	445.0000	
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000	
<u>Cylinder (Cylinder)</u>			445.000mm ... 3715.000mm
Diameter (mm)	[d]	180.0000	
Length (mm)	[l]	3270.0000	
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000	

Inner contour

<u>Cylindrical bore (Cylindrical bore)</u>			0.000mm ... 3614.000mm
Diameter (mm)	[d]	0.0000	
Length (mm)	[l]	3614.0000	
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000	
<u>Conical bore (Conical bore)</u>			3614.000mm ... 3715.000mm
Diameter left (mm)	[d _l]	40.0000	
Diameter right (mm)	[d _r]	69.0000	
Length (mm)	[l]	101.0000	
Surface roughness (µm)	[Rz]	8.0000	

Bearing

Label in the model		RollerBearing15
Bearing type		SKF 7028 ACD/HCP4A
Bearing type		Angular contact ball bearing (single row)
		Hybrid bearings
Bearing position (mm)	[y _{lokal}]	150.000
Bearing position (mm)	[y _{global}]	150.000
Attachment of external ring		Set fixed bearing left
Inner diameter (mm)	[d]	140.000

External diameter (mm)	[D]	210.000	
Width (mm)	[b]	33.000	
Corner radius (mm)	[r]	2.000	
The bearing pressure angle will be considered in the calculation			
Position (center of pressure)			(mm) 191.0000
Basic static load rating (kN)	[C ₀]	156.000	
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	146.000	
Fatigue load rating (kN)	[C _u]	5.100	
Values for approximated geometry:			
Basic dynamic load rating (kN)	[C _{theo}]	0.000	
Basic static load rating (kN)	[C _{0theo}]	0.000	
Correction factor Basic dynamic load rating	[f _C]	1.000	
Correction factor Basic static load rating	[f _{C0}]	1.000	

Label in the model		RollerBearing16	
Bearing type		SKF 6028	
Bearing type		Deep groove ball bearing (single row)	
Bearing position (mm)	[y _{lokal}]	102.000	
Bearing position (mm)	[y _{global}]	102.000	
Attachment of external ring		Free bearing	
Inner diameter (mm)	[d]	140.000	
External diameter (mm)	[D]	210.000	
Width (mm)	[b]	33.000	
Corner radius (mm)	[r]	2.000	
Basic static load rating (kN)	[C ₀]	108.000	
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	111.000	
Fatigue load rating (kN)	[C _u]	3.500	
Values for approximated geometry:			
Basic dynamic load rating (kN)	[C _{theo}]	0.000	
Basic static load rating (kN)	[C _{0theo}]	0.000	
Correction factor Basic dynamic load rating	[f _C]	1.000	
Correction factor Basic static load rating	[f _{C0}]	1.000	

Label in the model		RollerBearing17	
Bearing type		SKF 7028 ACD/HCP4A	
Bearing type		Angular contact ball bearing (single row) Hybrid bearings	
Bearing position (mm)	[y _{lokal}]	54.000	
Bearing position (mm)	[y _{global}]	54.000	
Attachment of external ring		Set fixed bearing right	
Inner diameter (mm)	[d]	140.000	
External diameter (mm)	[D]	210.000	
Width (mm)	[b]	33.000	
Corner radius (mm)	[r]	2.000	
The bearing pressure angle will be considered in the calculation			
Position (center of pressure)			(mm) 13.0000
Basic static load rating (kN)	[C ₀]	156.000	
Basic dynamic load rating (kN)	[C]	146.000	
Fatigue load rating (kN)	[C _u]	5.100	
Values for approximated geometry:			
Basic dynamic load rating (kN)	[C _{theo}]	0.000	
Basic static load rating (kN)	[C _{0theo}]	0.000	
Correction factor Basic dynamic load rating	[f _C]	1.000	
Correction factor Basic static load rating	[f _{C0}]	1.000	

CONNECTIONS

(con_vrt_frez) 2715.000mm

Degrees of freedom
X: fixed Y: free Z: fixed
Rx: fixed Ry: fixed Rz: fixed

Results

Shaft

Maximum deflection 155.072 (µm) (frez_vret pos = 1515.000 mm)

Mass center of gravity
frez_vret (mm) 1255.931
vrt_vret (mm) 1934.058

Total axial load
frez_vret (N) 9683.938
vrt_vret (N) 0.000

Torsion under torque
frez_vret (°) 0.076
vrt_vret (°) 0.000

Bearing

Probability of failure [n] 10.00 %
Axial clearance [uA] 10.00 µm
Lubricant Grease: ISOFLEX TOPAS L 32
Lubricant - service temperature [TB] 70.00 °C
Rolling bearings, classical calculation (contact angle considered)

Shaft 'frez_vret' Rolling bearing 'RollerBearing10'

Position (Y-coordinate) [y] 1945.00 mm
Dynamic equivalent load [P] 0.48 kN
Equivalent load [P0] 0.48 kN
Life modification factor for reliability[a1] 1.000
Basic bearing rating life [Lnh] > 1000000 h
Operating viscosity [v] 0.00 mm²/s
Static safety factor [S0] 838.61
Bearing reaction force [Fx] -0.088 kN
Bearing reaction force [Fy] 0.274 kN
Bearing reaction force [Fz] 0.469 kN
Bearing reaction force [Fr] 0.477 kN (100.64°)
Bearing reaction moment [Mx] 33.99 Nm
Bearing reaction moment [My] 0.00 Nm
Bearing reaction moment [Mz] 6.38 Nm
Bearing reaction moment [Mr] 34.58 Nm (10.64°)
Displacement of bearing [ux] 0.000 µm
Displacement of bearing [uy] 10.080 µm
Displacement of bearing [uz] -0.000 µm
Displacement of bearing [ur] 0.000 µm
Misalignment of bearing [rx] -0.000 mrad (0')
Misalignment of bearing [ry] 1.299 mrad (4.46')
Misalignment of bearing [rz] -0.000 mrad (0')
Misalignment of bearing [rr] 0.000 mrad (0')

Shaft 'frez_vret' Rolling bearing 'RollerBearing11'

Position (Y-coordinate) [y] 1873.00 mm
Dynamic equivalent load [P] 1.08 kN
Equivalent load [P0] 1.08 kN
Life modification factor for reliability[a1] 1.000
Basic bearing rating life [Lnh] > 1000000 h
Operating viscosity [v] 0.00 mm²/s
Static safety factor [S0] 369.25

Bearing reaction force	[Fx]	0.200	kN
Bearing reaction force	[Fy]	0.622	kN
Bearing reaction force	[Fz]	-1.065	kN
Bearing reaction force	[Fr]	1.083	kN (-79.36°)
Bearing reaction moment	[Mx]	-77.19	Nm
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm
Bearing reaction moment	[Mz]	-14.50	Nm
Bearing reaction moment	[Mr]	78.54	Nm (-169.36°)
Displacement of bearing	[ux]	-0.000	µm
Displacement of bearing	[uy]	10.077	µm
Displacement of bearing	[uz]	0.000	µm
Displacement of bearing	[ur]	0.000	µm
Misalignment of bearing	[rx]	-0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[ry]	1.272	mrad (4.37')
Misalignment of bearing	[rz]	-0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[rr]	0.000	mrad (0')

Shaft 'frez_vret' Rolling bearing 'RollerBearing12'

Position (Y-coordinate)	[y]	1464.00	mm
Dynamic equivalent load	[P]	2.38	kN
Equivalent load	[P0]	2.38	kN
Life modification factor for reliability[a1]		1.000	
Basic bearing rating life	[L-nh]	> 1000000	h
Operating viscosity	[v]	0.00	mm ² /s
Static safety factor	[S0]	128.05	
Bearing reaction force	[Fx]	0.440	kN
Bearing reaction force	[Fy]	-0.896	kN
Bearing reaction force	[Fz]	-2.341	kN
Bearing reaction force	[Fr]	2.382	kN (-79.36°)
Bearing reaction moment	[Mx]	153.33	Nm
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm
Bearing reaction moment	[Mz]	28.80	Nm
Bearing reaction moment	[Mr]	156.01	Nm (10.64°)
Displacement of bearing	[ux]	-0.000	µm
Displacement of bearing	[uy]	10.000	µm
Displacement of bearing	[uz]	0.000	µm
Displacement of bearing	[ur]	0.000	µm
Misalignment of bearing	[rx]	0.002	mrad (0.01')
Misalignment of bearing	[ry]	1.083	mrad (3.72')
Misalignment of bearing	[rz]	0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[rr]	0.002	mrad (0.01')

Shaft 'frez_vret' Rolling bearing 'RollerBearing13'

Position (Y-coordinate)	[y]	1395.00	mm
Dynamic equivalent load	[P]	11.38	kN
Equivalent load	[P0]	7.29	kN
Life modification factor for reliability[a1]		1.000	
Basic bearing rating life	[L-nh]	> 1000000	h
Operating viscosity	[v]	0.00	mm ² /s
Static safety factor	[S0]	41.86	
Bearing reaction force	[Fx]	-6.657	kN
Bearing reaction force	[Fy]	-9.684	kN
Bearing reaction force	[Fz]	2.778	kN
Bearing reaction force	[Fr]	7.214	kN (157.35°)
Bearing reaction moment	[Mx]	-181.94	Nm
Bearing reaction moment	[My]	0.00	Nm
Bearing reaction moment	[Mz]	-436.05	Nm
Bearing reaction moment	[Mr]	472.49	Nm (-112.65°)
Displacement of bearing	[ux]	-0.000	µm
Displacement of bearing	[uy]	10.000	µm
Displacement of bearing	[uz]	-0.000	µm
Displacement of bearing	[ur]	0.000	µm
Misalignment of bearing	[rx]	0.002	mrad (0.01')
Misalignment of bearing	[ry]	1.043	mrad (3.59')
Misalignment of bearing	[rz]	0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[rr]	0.002	mrad (0.01')

Shaft 'frez_vret' Rolling bearing 'RollerBearing14'

Position (Y-coordinate)	[y]	322.00	mm
Dynamic equivalent load	[P]	64.27	kN
Equivalent load	[P ₀]	64.27	kN
Life modification factor for reliability[a ₁]		1.000	
Basic bearing rating life	[L _{nh}]	114188.39	h
Operating viscosity	[v]	7.07	mm ² /s
Static safety factor	[S ₀]	12.91	
Bearing reaction force	[F _x]	60.204	kN
Bearing reaction force	[F _y]	0.000	kN
Bearing reaction force	[F _z]	22.506	kN
Bearing reaction force	[F _r]	64.273	kN (20.5°)
Bearing reaction moment	[M _x]	-0.00	Nm
Bearing reaction moment	[M _y]	0.00	Nm
Bearing reaction moment	[M _z]	-0.00	Nm
Bearing reaction moment	[M _r]	0.00	Nm (-90°)
Oil level	[H]	0.000	mm
Rolling moment of friction	[M _{rr}]	1.140	Nm
Sliding moment of friction	[M _{sl}]	3.550	Nm
Moment of friction, seals	[M _{seal}]	0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 17000/1 EN:2018			
Moment of friction flow losses	[M _{drag}]	0.000	Nm
Torque of friction	[M _{loss}]	4.689	Nm
Power loss	[P _{loss}]	49.545	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 2018.			
The calculation is always performed with a coefficient for additives in the lubricant μ _{bl} =0.15.			
Displacement of bearing	[u _x]	-63.228	μm
Displacement of bearing	[u _y]	13.570	μm
Displacement of bearing	[u _z]	-23.632	μm
Displacement of bearing	[u _r]	67.500	μm (-159.51°)
Misalignment of bearing	[r _x]	0.049	mrاد (0.17')
Misalignment of bearing	[r _y]	0.112	mrاد (0.38')
Misalignment of bearing	[r _z]	-0.223	mrاد (-0.77')
Misalignment of bearing	[r _r]	0.228	mrاد (0.78')

Shaft 'vrt_vret' Rolling bearing 'RollerBearing15'

Position (Y-coordinate)	[y]	150.00	mm
Dynamic equivalent load	[P]	0.24	kN
Equivalent load	[P ₀]	0.24	kN
Life modification factor for reliability[a ₁]		1.000	
Basic bearing rating life	[L _{nh}]	> 1000000	h
Operating viscosity	[v]	0.00	mm ² /s
Static safety factor	[S ₀]	641.68	
Bearing reaction force	[F _x]	-0.020	kN
Bearing reaction force	[F _y]	0.140	kN
Bearing reaction force	[F _z]	0.242	kN
Bearing reaction force	[F _r]	0.243	kN (94.75°)
Bearing reaction moment	[M _x]	9.93	Nm
Bearing reaction moment	[M _y]	0.00	Nm
Bearing reaction moment	[M _z]	0.83	Nm
Bearing reaction moment	[M _r]	9.97	Nm (4.75°)
Oil level	[H]	0.000	mm
Rolling moment of friction	[M _{rr}]	1.140	Nm
Sliding moment of friction	[M _{sl}]	3.550	Nm
Moment of friction, seals	[M _{seal}]	0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 17000/1 EN:2018			
Moment of friction flow losses	[M _{drag}]	0.000	Nm
Torque of friction	[M _{loss}]	4.689	Nm
Power loss	[P _{loss}]	49.545	W
The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 2018.			
The calculation is always performed with a coefficient for additives in the lubricant μ _{bl} =0.15.			
Displacement of bearing	[u _x]	0.000	μm
Displacement of bearing	[u _y]	10.004	μm
Displacement of bearing	[u _z]	0.000	μm
Displacement of bearing	[u _r]	0.000	μm
Misalignment of bearing	[r _x]	-0.000	mrاد (0')

Misalignment of bearing	[r _y]	0.932	mrad (3.21')
Misalignment of bearing	[r _z]	-0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r _r]	0.000	mrad (0')

Shaft 'vrt_vret' Rolling bearing 'RollerBearing16'

Position (Y-coordinate)	[y]	102.00	mm
Dynamic equivalent load	[P]	0.00	kN
Equivalent load	[P ₀]	0.00	kN
Life modification factor for reliability[a ₁]		1.000	
Basic bearing rating life	[L _{nh}]	> 1000000	h
Operating viscosity	[v]	0.00	mm ² /s
Static safety factor	[S ₀]	9999.99	
Bearing reaction force	[F _x]	0.000	kN
Bearing reaction force	[F _y]	0.000	kN
Bearing reaction force	[F _z]	0.000	kN
Bearing reaction force	[F _r]	0.000	kN
Oil level	[H]	0.000	mm
Rolling moment of friction	[M _{rr}]	0.000	Nm
Sliding moment of friction	[M _{sl}]	0.017	Nm
Moment of friction, seals	[M _{seal}]	0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 17000/1 EN:2018			
Moment of friction flow losses	[M _{drag}]	0.000	Nm
Torque of friction	[M _{loss}]	0.017	Nm
Power loss	[P _{loss}]	0.184	W

The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 2018.

The calculation is always performed with a coefficient for additives in the lubricant $\mu_{bl}=0.15$.

Displacement of bearing	[u _x]	-0.000	μm
Displacement of bearing	[u _y]	10.002	μm
Displacement of bearing	[u _z]	0.005	μm
Displacement of bearing	[u _r]	0.005	μm
Misalignment of bearing	[r _x]	-0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r _y]	0.932	mrad (3.21')
Misalignment of bearing	[r _z]	-0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r _r]	0.000	mrad (0')

Shaft 'vrt_vret' Rolling bearing 'RollerBearing17'

Position (Y-coordinate)	[y]	54.00	mm
Dynamic equivalent load	[P]	0.20	kN
Equivalent load	[P ₀]	0.19	kN
Life modification factor for reliability[a ₁]		1.000	
Basic bearing rating life	[L _{nh}]	> 1000000	h
Operating viscosity	[v]	0.00	mm ² /s
Static safety factor	[S ₀]	828.46	
Bearing reaction force	[F _x]	0.018	kN
Bearing reaction force	[F _y]	-0.139	kN
Bearing reaction force	[F _z]	-0.187	kN
Bearing reaction force	[F _r]	0.188	kN (-84.43°)
Bearing reaction moment	[M _x]	7.68	Nm
Bearing reaction moment	[M _y]	0.00	Nm
Bearing reaction moment	[M _z]	0.75	Nm
Bearing reaction moment	[M _r]	7.72	Nm (5.57°)
Oil level	[H]	0.000	mm
Rolling moment of friction	[M _{rr}]	0.000	Nm
Sliding moment of friction	[M _{sl}]	0.017	Nm
Moment of friction, seals	[M _{seal}]	0.000	Nm
Moment of friction for seals determined according to SKF main catalog 17000/1 EN:2018			
Moment of friction flow losses	[M _{drag}]	0.000	Nm
Torque of friction	[M _{loss}]	0.017	Nm
Power loss	[P _{loss}]	0.184	W

The moment of friction is calculated according to the details in SKF Catalog 2018.

The calculation is always performed with a coefficient for additives in the lubricant $\mu_{bl}=0.15$.

Displacement of bearing	[u _x]	0.000	μm
Displacement of bearing	[u _y]	10.000	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]	0.932	mrad (3.21')
Misalignment of bearing	[r _z]	0.000	mrad (0')
Misalignment of bearing	[r _r]	0.000	mrad (0')

Bearing 'con_vrt_frez'

Position (Y-coordinate)	[y]	2715.00	mm
Bearing reaction force	[F _x]	0.002	kN
Bearing reaction force	[F _y]	0.000	kN
Bearing reaction force	[F _z]	-0.055	kN
Bearing reaction force	[F _r]	0.055	kN (-88.05°)
Bearing reaction moment	[M _x]	105.20	Nm
Bearing reaction moment	[M _y]	-0.00	Nm
Bearing reaction moment	[M _z]	1.43	Nm
Bearing reaction moment	[M _r]	105.21	Nm (0.78°)
Displacement of bearing	[u _x]	0.000	µm
Displacement of bearing	[u _y]	-0.459	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] (14000.000)								
Bin no	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	
1		1.40	1.40	1.40	1.40	12.26	1.40	1.40	1.40
Σ	1.40	1.40	1.40	1.40	12.26	1.40	1.40	1.40	

Utilization (%)	[Lreq] (14000.000)							
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	
24.10	24.10	24.10	24.10	53.28	24.10	24.10	24.10	

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

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

- B 1: RollerBearing10
- B 2: RollerBearing11
- B 3: RollerBearing12
- B 4: RollerBearing13
- B 5: RollerBearing14
- B 6: RollerBearing15
- B 7: RollerBearing16
- B 8: RollerBearing17

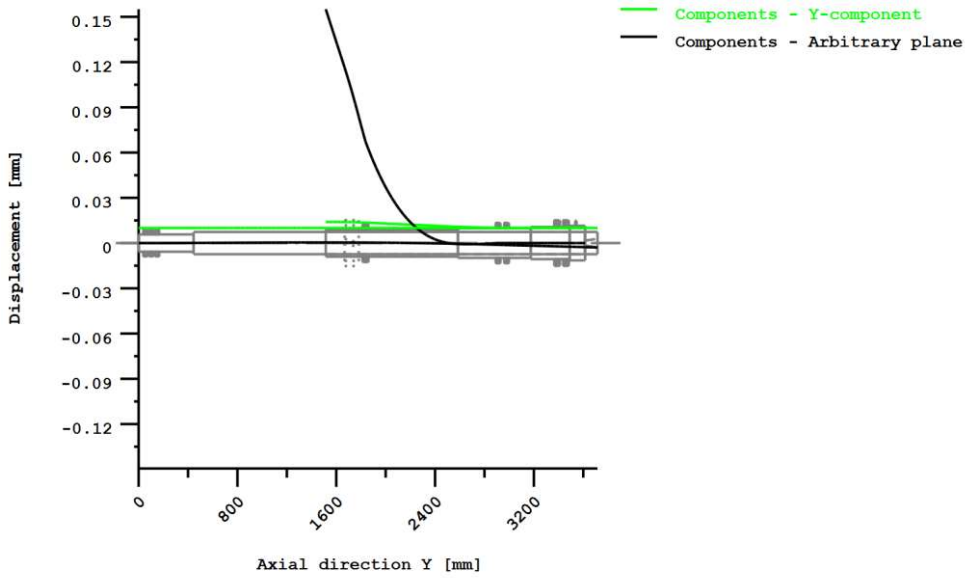
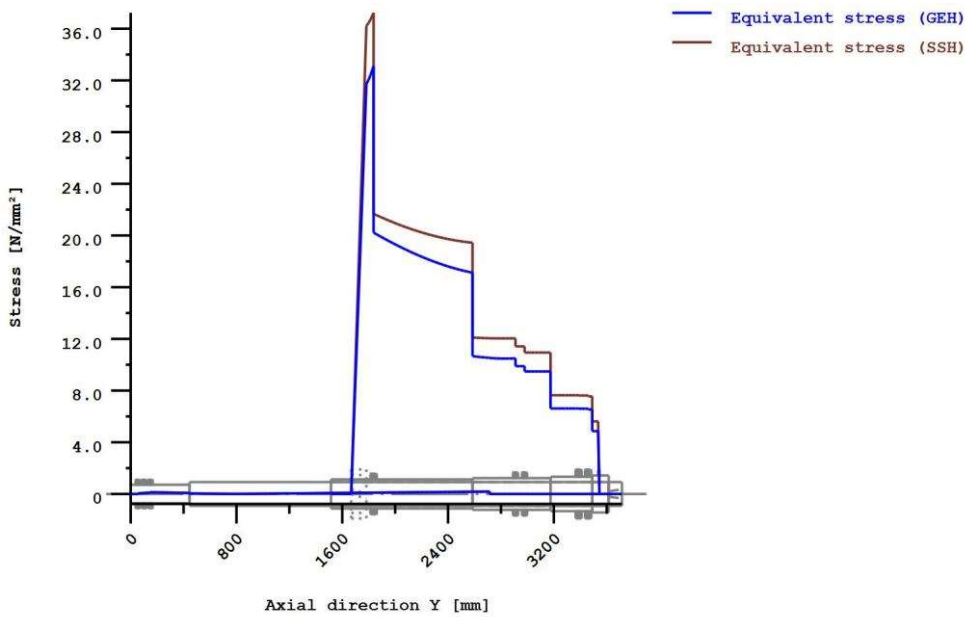


Figure: Deformation (bending etc.) (Arbitrary plane 195.4589699 121)



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

Figure: Equivalent stress

PŘÍLOHA č. 3

Výkresová dokumentace

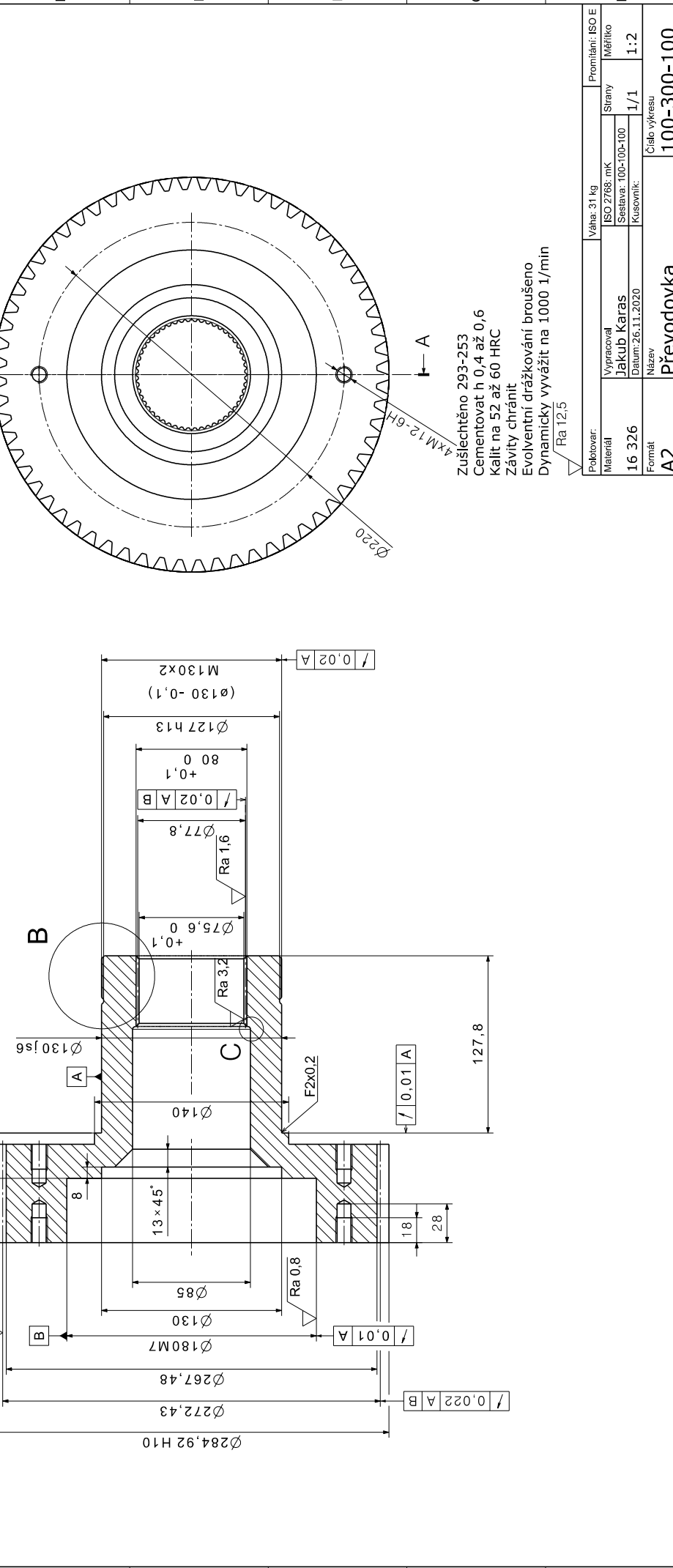
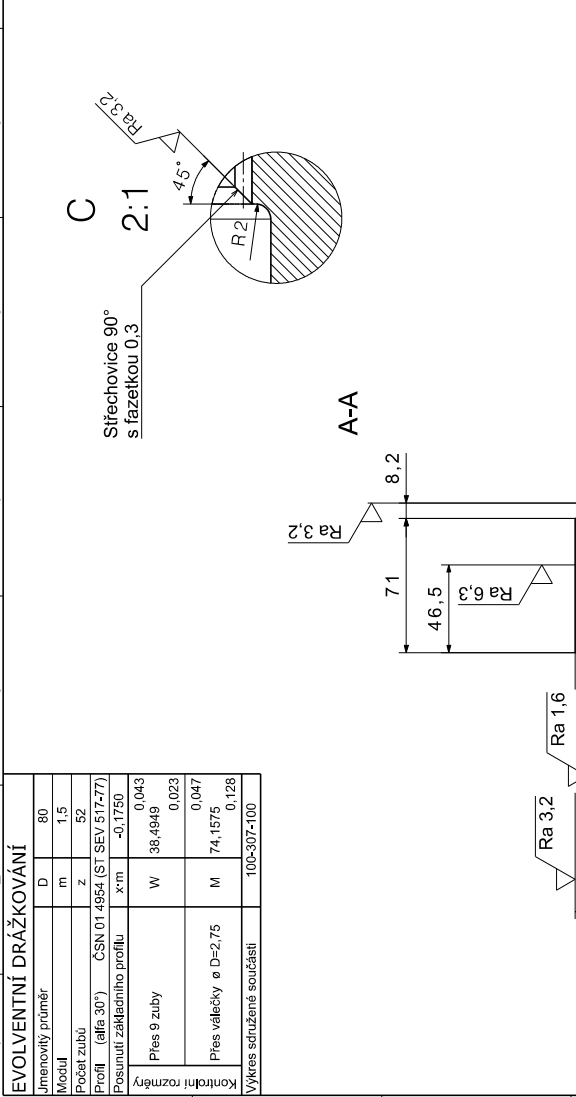
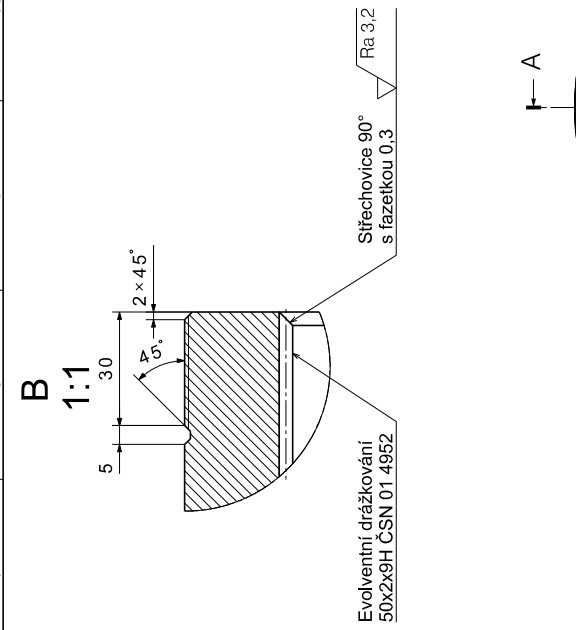
EVOLVENTNÍ DRÁŽKOVÁNÍ

Urnecový průměr	D	80
Modul	m	1,5
Počet zubů	z	52
Profil (alfa 30°)	CSN 01 4954 (ST SEV 517-77)	
Posunutí základního profilu	x·m	-0,1750
Kontrolní rozměry	W	38,4949
	M	74,1575
Výkres sružené součásti		100-307-100

Číslní sklé	z	64
Zuby/prímé sklé šípové	m	4
Počet zubů	a	20°
Nástroj	CSN 01 4607	
Uhel sklonu boční křivky zubu	h ₁	1,25·m = 5
Srnýsl stoupání boční křivky zubu	β	20°
Jednotkové posunutí	x	0,6317
Jednotková změna tloušťky zubu	x ₂	-
Stupeň přesnosti	ST SEV 641-77 5-5-5 CH/II	
Kontrolní rozměr	s ₁	7,17
	H ₁	4,94
	W	11,22
Modul čáňní	m ₁	4,257
Průměr základní kružnice	d ₁	254,04
Uhel sklonu zubu na základním válci	β ₁	18°44'51"

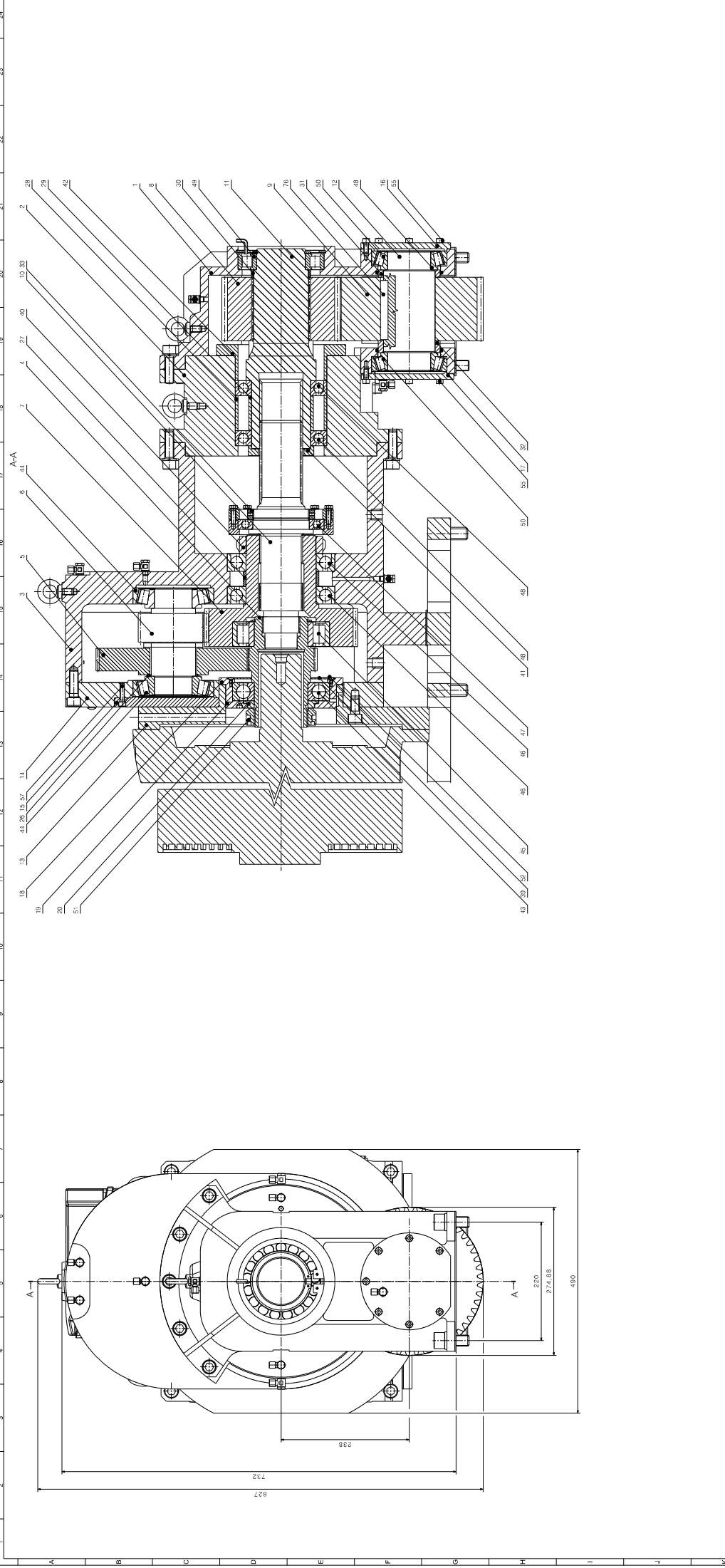
Číslo výkresu	Počet zubů	Vzdálenost os	Uhel os X
100-303-100	28	200±0,022	0°

Spoluzabírající kdo	
Číslo výkresu	Počet zubů
100-303-100	28



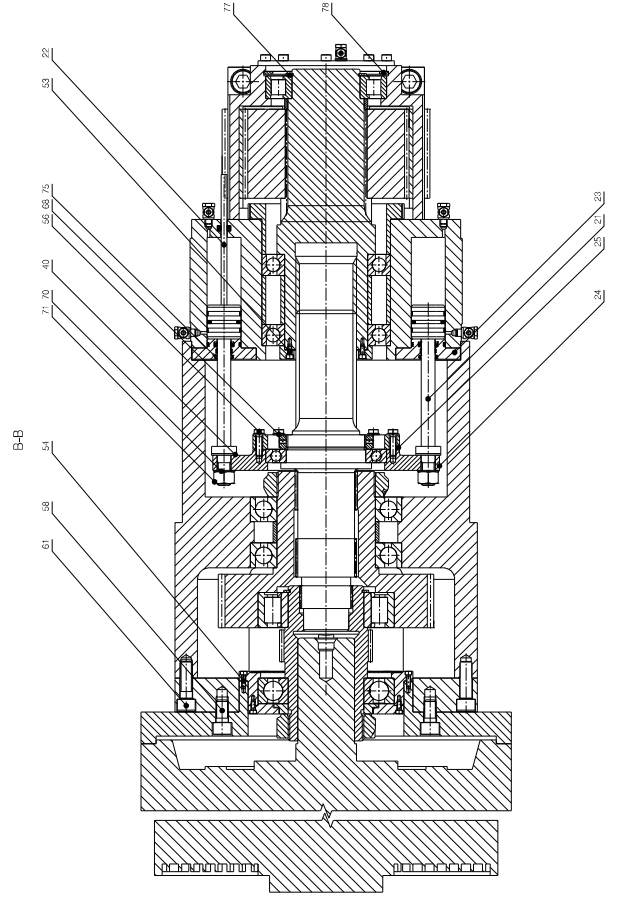
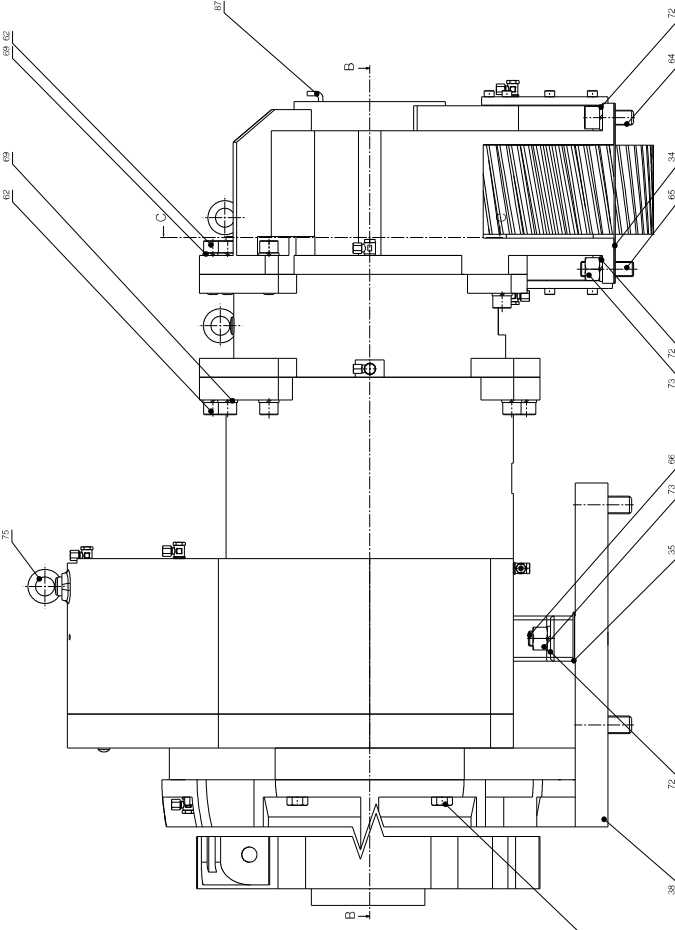
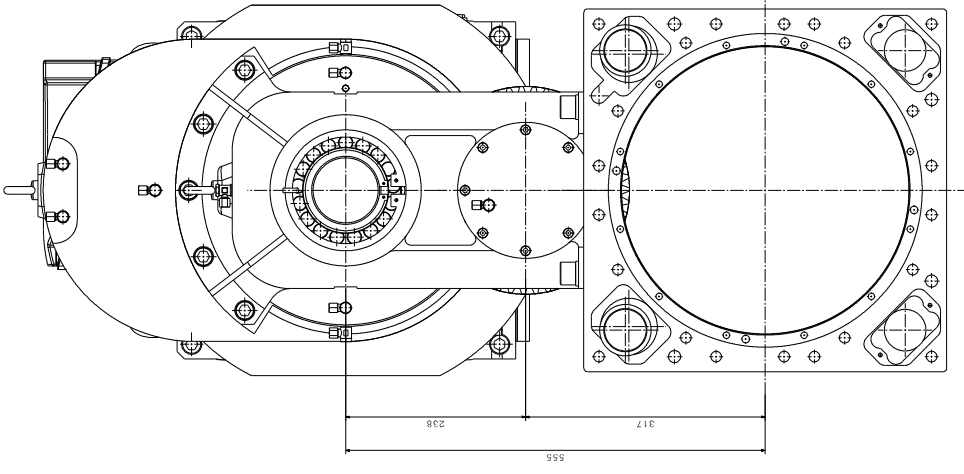
Zušlechťeno 293-253
 Cementovat h 0,4 až 0,6
 Kalit na 52 až 60 HRC
 Závity chránit
 Evolutní drážkování broušeno
 Dynamicky vyvážit na 1000 1/min
 Ra 12,5

Pohotovost	Váha: 31 kg	Promítání: ISO E
Materiál	ISO 2768: mK	Strany
16 326	Sestava: 100-100-100	Měřtko
Formát	Datum: 26.11.2020	1/1
AZ	Název	1:2
	Převodovka	
	Číslo výkresu	
	100-300-100	

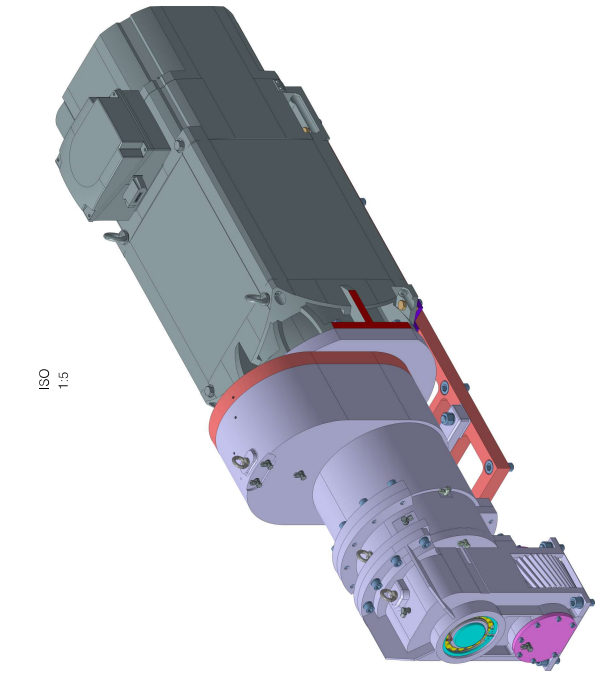
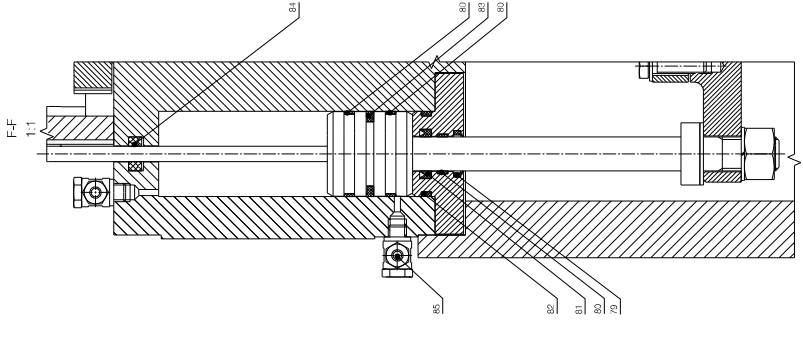
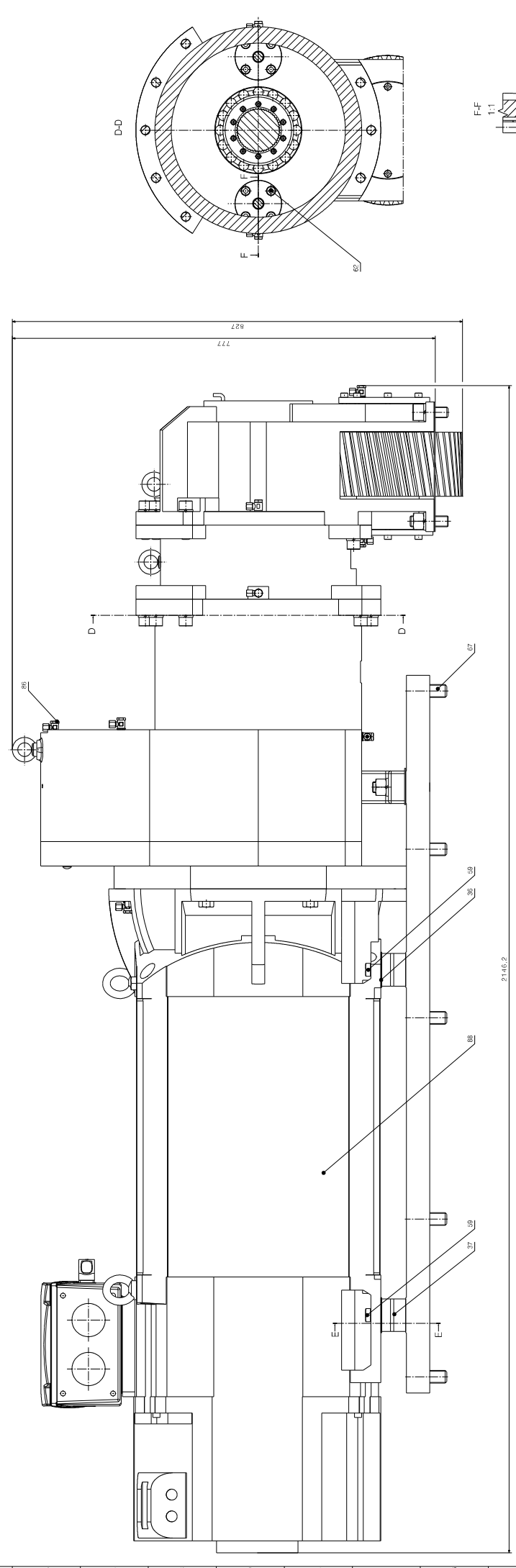


Č. poz.	Název části	Množ. kusi	Hmotnost kg	Č. poz.	Název části	Množ. kusi	Hmotnost kg	Č. poz.	Název části	Množ. kusi	Hmotnost kg	Č. poz.	Název části	Množ. kusi	Hmotnost kg	Č. poz.	Název části	Množ. kusi	Hmotnost kg
1	Průhledná skříň	1	44	20	Společná kování	1	0,5	39	Kov. část	1	0,4	58	Společná vřetevň	1	0,03	8	Společná vřetevň	1	0,01
2	Střední skříň	1	109	21	Průhledná skříň	1	1	40	Průhledná skříň	1	4,5	59	Společná vřetevň	1	0,09	4	Společná vřetevň	1	0,01
3	Základní skříň	1	196	22	Průhledná skříň	1	1	41	Průhledná skříň	1	0,7	60	Společná vřetevň	1	0,1	6	Společná vřetevň	1	0,3
4	Občerstvení	1	7	23	Průhledná skříň	1	0,7	42	Průhledná skříň	1	4,2	61	Společná vřetevň	1	0,1	10	Společná vřetevň	1	0,3
5	Občerstvení	1	19	24	Průhledná skříň	1	2,7	43	Průhledná skříň	1	3,2	62	Společná vřetevň	1	0,1	15	Společná vřetevň	1	0,3
6	Občerstvení	1	25	25	Průhledná skříň	1	9,1	44	Průhledná skříň	1	3	63	Společná vřetevň	1	0,15	8	Společná vřetevň	1	0,3
7	Občerstvení	1	31	26	Průhledná skříň	1	0,05	45	Průhledná skříň	1	5,1	64	Společná vřetevň	1	0,2	2	Společná vřetevň	1	0,2
8	Občerstvení	1	24	27	Průhledná skříň	1	0,5	46	Průhledná skříň	1	3,5	65	Společná vřetevň	1	0,2	2	Společná vřetevň	1	0,2
9	Občerstvení	1	44	28	Průhledná skříň	1	1,4	47	Průhledná skříň	1	1,2	66	Společná vřetevň	1	0,3	2	Společná vřetevň	1	0,7
10	Průhledná skříň	1	17	29	Průhledná skříň	1	1	48	Průhledná skříň	1	2,2	67	Společná vřetevň	1	0,3	10	Společná vřetevň	1	0,7
11	Průhledná skříň	1	22	30	Průhledná skříň	1	0,2	49	Průhledná skříň	1	2,4	68	Společná vřetevň	1	0,001	8	Průhledná skříň	1	1
12	Průhledná skříň	1	26	31	Průhledná skříň	1	39	50	Průhledná skříň	1	2	69	Společná vřetevň	1	0,001	15	Průhledná skříň	1	470
13	Vřetevň	1	55	32	Průhledná skříň	1	62	51	Průhledná skříň	1	1,3	70	Průhledná skříň	1	0,001	2	Průhledná skříň	1	2
14	Vřetevň	1	48	33	Průhledná skříň	1	0,5	52	Průhledná skříň	1	0,02	71	Průhledná skříň	1	0,001	4	Průhledná skříň	1	4
15	Vřetevň	1	5	34	Průhledná skříň	1	0,5	53	Průhledná skříň	1	0,02	72	Průhledná skříň	1	0,06	2	Průhledná skříň	1	0,06
16	Vřetevň	1	3	35	Průhledná skříň	1	0,07	54	Průhledná skříň	1	0,02	73	Průhledná skříň	1	0,06	4	Průhledná skříň	1	0,06
17	Vřetevň	1	2	36	Průhledná skříň	1	0,4	55	Průhledná skříň	1	0,02	74	Průhledná skříň	1	27	2	Průhledná skříň	1	27
18	Vřetevň	1	4	37	Průhledná skříň	1	5,7	56	Průhledná skříň	1	0,02	75	Průhledná skříň	1	0,2	3	Průhledná skříň	1	0,2
19	Vřetevň	1	2	38	Průhledná skříň	1	52	57	Průhledná skříň	1	0,02	76	Průhledná skříň	1	0,5	1	Průhledná skříň	1	1

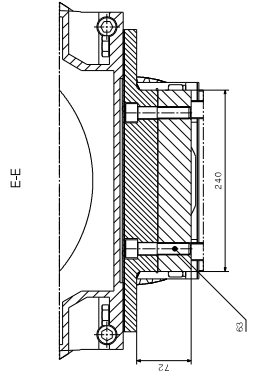
Vypracoval: J. Š. J. / J. Š. J.
 Kvalifikace: /
 Datum: / /
 Číslo výkresu: 100-100-100
 Úroveň: /
 Měřítko: /
 Stupeň: /
 Číslo listu: /
 Celkový počet listů: /



Склад:	100-100-100	Проект:	100-100-100
Состав:	100-100-100	Масштаб:	2:1
Формат:	A0	Спецификация:	100-100-100
Индекс:		Лист:	2/3
Дата:		Исполнитель:	



ISO 1:5



Model:	100-100-100	Version:	1.0
Author:	...	Checked:	...
Designer:	...	Approved:	...
Scale:	2:5	Sheet:	3/3
Project:	100-100-100	Part:	Prevodovka
Material:	AO		