



Konstrukční řešení pohonu podavače černého uhlí

Bakalářská práce

Studijní program:

B2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

Strojní inženýrství

Autor práce:

Denis Haloun

Vedoucí práce:

doc. Ing. Michal Petrů, Ph.D.

Katedra částí a mechanismů strojů





Zadání bakalářské práce

Konstrukční řešení pohonu podavače černého uhlí

Jméno a příjmení: Denis Haloun
Osobní číslo: S18000039
Studijní program: B2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojní inženýrství
Zadávací katedra: Katedra částí a mechanismů strojů
Akademický rok: 2020/2021

Zásady pro vypracování:

Navrhněte nové konstrukční řešení pohonu pro podavač černého uhlí. Pohon bude pohánět šnekový podavač a bude složen z elektromotoru a šneko-čelní převodovky. Přenášený výkon bude 4 kW, vstupní otáčky 1440 ot./min a vstupní kroutící moment 26 Nm. Na výstupu budou teoretické otáčky 60 ot./min a kroutící moment 637 Nm při prvním zařazeném stupni a 120 ot./min a 318 Nm při zařazeném druhém stupni.

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s dosavadním stavem konstruování šneko-čelních převodovek pro podavače sypkého materiálu ve vztahu k tématu práce a tento stav popište.
2. Proveďte průzkum potenciálních řešení, včetně patentové rešerše.
3. Vypracujte koncepční řešení pohonu a výpočtovou zprávu vybraných dílů
4. Vypracujte 3D sestavu převodovky, výkresové dokumentace sestavy vybraných dílů
5. Ekonomické zhodnocení
6. Závěrečné zhodnocení

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

přílohy dle potřeby
50
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

- [1] PEŠÍK, L. Části strojů. 1. díl. Liberec: Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-573-0
- [2] PEŠÍK, L. Části strojů. 2. díl. Liberec: Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-574-7
- [3] Moravec V.: Konstrukce strojů a zařízení 2. čelní ozubená kola. Vysoká škola báňská, Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2001, 291 s.
- [4] Mrkvica I.: Současné trendy v obrábění ozubených kol. Vysoká škola báňská, Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2011, 120 s.
- [5] MAŠÍN I., PETRŮ, M., NOVÁK, O. Metody inovačního inženýrství na mikro-úrovni , Technická univerzita v Liberci v Liberci 2015, str.270, ISBN 978-80-7494-187-0
- [6] Leinveber, J., Vávra, P.: Strojnické tabulky. Albra, Úvaly 2005. ISBN 80-736-01-6
- [7] Bureš M.: Návrh a pevnostní výpočet čelních a kuželových ozubených kol. Skriptum TU Liberec Ediční středisko 2006.
- [8] Normy pro návrh a pevnostní výpočet čelních a kuželových ozubených kol ČSN 014686-4 nebo ČSN ISO 6336-5 (014687) Výpočet únosnosti čelních ozubených kol s přímými a šikmými zuby – několik dílů, nebo ANSI/AGMA 20010B88, 2001-C95 nebo normou 2001-D04, nebo ANSI/AGMA 908-B89
- [9] Normy pro mezní úchytky a tolerance ozubených kol a soukolí ČSN 014682 nebo novější ČSN ISO 1328-1 Čelní ozubená kola – Soustava přesnosti ISO a ČSN 01 4676 – Ozubená kola – Měření ozubených kol čelních se šikmými zuby
- [10] Výpočetní programy AutoDESK- Mechsoft, KISS SOFT, MITCALc.
- [11] Databáze knihovny TUL

Vedoucí práce:

doc. Ing. Michal Petrů, Ph.D.
Katedra částí a mechanismů strojů

Datum zadání práce:

25. listopadu 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

25. května 2022

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

L.S.

prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

24. června 2021

Denis Haloun

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Doc. Ing. Michalu Petřů, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost, cenné rady a pomoc v průběhu práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za veškerou podporu po celou dobu studia.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá konstrukcí pohonu pro šnekový dopravník černého uhlí. Práce obsahuje teoretickou část, kde se pojednává o manipulaci materiálu, typech dopravníku a jejich pohonů. Celá konstrukce je složena z elektromotoru a dvou převodových ústrojí. Hlavní část práce je výpočtový zpráva, kde jsou výpočty ověřeny jednotlivé díly. Výkresová dokumentace vybraných částí a 3D model mechanismu je přílohou této práce.

Klíčová slova

Šnekový převod, dopravník, uhlí, elektromotor, šnekový dopravník, výkon, hřídel, otáčky

Annotation

The bachelor's thesis deals with the construction of a drive for a screw conveyor of black coal. The work contains a theoretical part, which deals with material handling, types of conveyors and their drives. The whole structure consists of an electric motor and two gearboxes. The main part of the work is a calculation report, where the calculations are verified by individual parts. Drawing documentation of selected parts and a 3D model of the mechanism is an attachment to this work.

Keywords

Worm and wheel, conveyor, coal, electric motor, worm conveyor, wattage, shaft, speed

Obsah

1	Úvod	7
2	Rozdělení dopravníků	8
3	Pásový dopravník	9
3.1	Konstrukční řešení pásového dopravníku	10
3.2	Vybrané části pásového dopravníku	10
3.2.1	Dopravní pás	10
3.2.2	Spojování dopravních pásů	11
3.2.3	Trvanlivost dopravního pásu	12
3.2.4	Hnací a hnaný buben	13
3.2.5	Válečkové stolice	13
4	Šnekový dopravník	14
4.1	Rozdělení šnekových dopravníků	14
4.2	Konstrukční řešení šnekového dopravníku	15
4.2.1	Pohon	15
4.2.2	Šnek	15
4.2.3	Uložení a spojování šneku	17
4.2.4	Žlab	18
4.2.5	Přepřavovaný materiál	18
5	Výpočet dopravníku	19
5.1	Dopravované množství	19
5.2	Výpočet šnekovnice	19
5.3	Výkon motoru	20
5.3.1	Výběr elektromotoru	20
6	Výpočtová zpráva šneko-čelní převodovky	21
6.1	Schéma integrovaného převodu	21
6.2	Převodová čísla, otáčky, momenty	21
6.2.1	Převodová čísla	21
6.2.2	Otáčky	22
6.2.3	Kroutící momenty	22
6.3	Návrh čelního soukolí se šikmými zuby 1-2	23
6.3.1	Volba počtu zubů	23
6.3.2	Výpočet modulu	23
6.3.3	Společná geometrie	24
6.3.4	Čelní kolo se šikmými zuby 1	24

6.3.5	Náhradní kolo 1	24
6.3.6	Čelní kolo se šikmými zuby 2	24
6.3.7	Náhradní kolo 2	25
6.3.8	Silové zatížení	25
6.3.9	Kontrola z hlediska únavy v dotyku	25
6.3.10	Kontrola na dotyk jednorázovým působení největšího zatížení	25
6.3.11	Kontrola z hlediska únavy v ohybu	26
6.3.12	Kontrola na ohyb při jednorázovém působení největšího zatížení	26
6.4	Návrh čelního ozubení se šikmými zuby 3-4	27
6.4.1	Volba počtu zubů	27
6.4.2	Výpočet modulu	27
6.4.3	Čelní kolo 3	28
6.4.4	Náhradní kolo 3	28
6.4.5	Čelní kolo 4	28
6.4.6	Náhradní kolo 4	28
6.4.7	Korekce	29
6.4.8	Silové zatížení	29
6.4.9	Kontrola z hlediska únavy v dotyku	29
6.4.10	Kontrola na dotyk při jednorázovém působení největšího zatížení	29
6.4.11	Kontrola z hlediska únavy v ohybu	30
6.4.12	Kontrola na ohyb při jednorázovém působení největšího zatížení	30
6.5	Šnekové soukolí	31
6.5.1	Volba počtu zubů	31
6.5.2	Společná geometrie	32
6.5.3	Šnek	32
6.5.4	Šnekový věnec	32
6.5.5	Rychlostní poměry (dopomala)	33
6.5.6	Rychlostní poměry (dorychla)	33
6.5.7	Silové zatížení (dopomala)	33
6.5.8	Silové zatížení (dorychla)	34
6.5.9	Kontrola dotykového napětí (dopomala)	34
6.5.10	Kontrola dotykového napětí (dorychla)	34
6.5.11	Kontrola zubů šnekového kola na ohyb (dopomala)	35
6.5.12	Kontrola zubů šnekového kola na ohyb (dorychla)	35
6.6	Hřídel 1	35
6.6.1	Dopomala	35

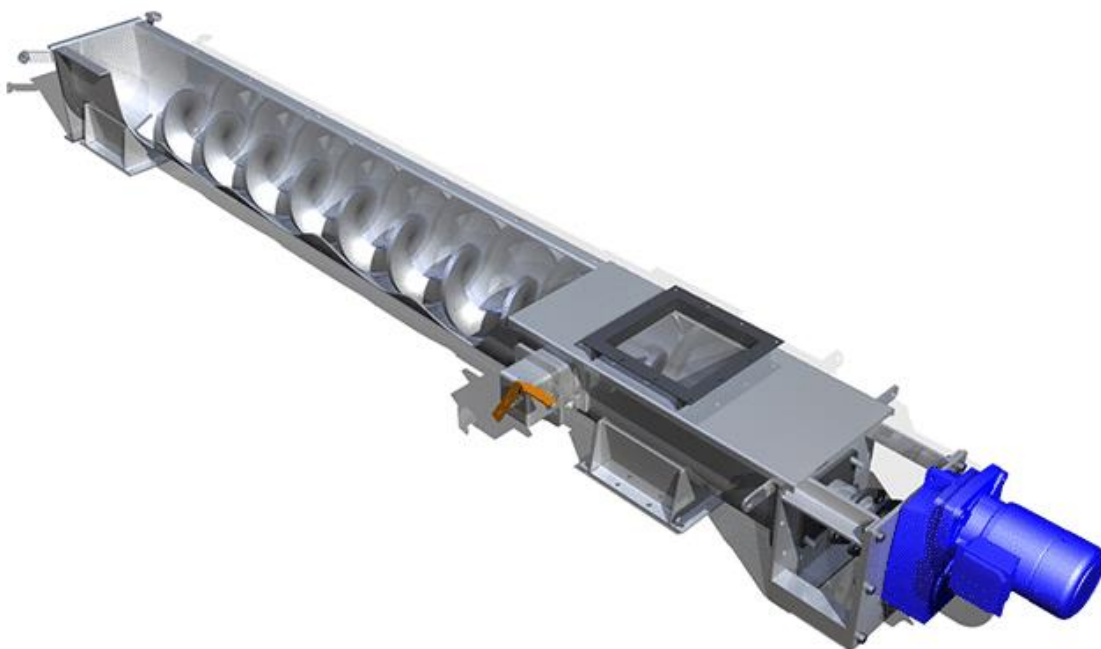
6.6.2	Dorychla.....	37
6.7	Hřídel 2	39
6.7.1	Dopomala	39
6.7.2	Dorychla.....	41
6.8	Hřídel 3 (šnek)	42
6.8.1	Dopomala	43
6.8.2	Dorychla.....	44
6.9	Hřídel 4 (šnekové kolo).....	46
6.9.1	Dopomala	46
6.9.2	Dorychla.....	48
6.10	Ložisko A (hřídel 1)	49
6.10.1	Dopomala	49
6.10.2	Dorychla.....	50
6.11	Ložisko B (hřídel 1)	50
6.11.1	Dopomala	51
6.11.2	Dorychla.....	51
6.12	Ložisko C (hřídel 2).....	51
6.12.1	Dopomala	51
6.12.2	Dorychla.....	52
6.13	Ložisko D (hřídel 2)	52
6.13.1	Dopomala	52
6.13.2	Dorychla.....	53
6.14	Ložisko F (hřídel 3).....	53
6.14.1	Dopomala	53
6.14.2	Dorychla.....	53
6.15	Ložisko E (hřídel 3).....	54
6.15.1	Dopomala	54
6.15.2	Dorychla.....	54
6.16	Ložisko G (hřídel 4)	55
6.16.1	Dopomala	55
6.16.2	Dorychla.....	55
6.17	Ložisko H (hřídel 4)	56
6.17.1	Dopomala	56
6.17.2	Dorychla.....	56
6.18	Spojení pero – drážka	57
6.18.1	Vstupní spojka	57

6.18.2	Navržení šroubů	57
6.18.3	Pero pod kolem 2 (dopomala).....	57
6.18.4	Pero pod kolem 4 (dorychla)	58
6.18.5	Vstupní spojka	58
6.18.6	Navržení šroubů	58
6.19	Drážkování.....	59
6.19.1	Drážkování pod kolem 1 - synchron - 3	59
6.20	Drážkování pod kolem 5	59
6.21	Výstupní drážkovaná spojka se střížnými kolíky.....	60
6.21.1	Návrh kolíků.....	60
6.22	Olej	60
7	Ekonomické zhodnocení.....	61
8	Finální konstrukce převodového ústrojí.....	61
9	Závěr	63

1 Úvod

Dopravní a manipulační zařízení v dnešní době představují nedílnou součást téměř v jakémkoliv odvětví průmyslu. Mezi jejich klady patří zejména nízká náročnost na údržbu, efektivita a celková nákladnost provozu. Nejvíce rozšířený je pásový dopravník, který se používá např. pro přepravu sypkých materiálů. Existují ovšem situace, kdy tento typ dopravníku nelze použít. Existují tedy např. i dopravníky lano pásové, šnekové, vibrační aj [1].

Cílem této bakalářské práce je navržení převodového ústrojí šnekového vodorovného podavače černého uhlí na vzdálenost 10 metrů při pracovním výkonu 50000 kg/h. Práce je rozdělena do dvou částí, teoretické a praktické. V teoretické části je rozebráno členění dopravníků, představení nejpoužívanějšího dopravníku (pásový dopravník), následně je představen šnekový dopravník. Na teoretickou část navazuje praktická část, kde se nejprve navrhne řešení a následně prověří výpočty.



Obrázek 1.1 Šnekový dopravník [14]

2 Rozdělení dopravníků

Manipulace a doprava materiálu byla spojena s lidskou činností od nepaměti pro zajištění základních životních potřeb. Ve starověku bylo potřeba velkého množství lidí, aby pomocí primitivních prostředků mohli manipulovat s těžkými břemeny. Hlavním zdrojem energie pro pohánění manipulačního zařízení byla lidská síla. Jelikož tato činnost byla velmi náročná, používali se pro tuto práci zpravidla otroci či lidé bez práv, jejichž život neměl v té době téměř žádnou cenu. Situace se nezlepšila ani s příchodem průmyslové revoluce, kdy byl vynalezen např. parní stroj, jelikož manipulace s materiálem byla stále vyhrazena pouze lidem. S tím byla spojena také vysoká úrazovost, jelikož neexistovala žádná pravidla pro bezpečnost práce, jak je známe z dnešních dní [2].

V dnešní době jsou manipulační a dopravní zařízení poháněni nejčastěji elektromotory, převodové ústrojí je obvykle ve formě šnekové, či čelní převodovky.

Dopravníky můžeme třídit do několika skupin z různých hledisek podle normy ČSN 260001. Ta říká, že dopravní zařízení je zařízení, které je určené k svislému, vodorovnému či úklonnému přemísťování nákladu, kterému se obvykle při procesu přemísťování nemění jeho fyzikální vlastnosti a struktura [1].

Rozdělení dle [3]:

Dle toku materiálu:

- plynulý
- taktovaný

Dle vzájemného pohybu:

- materiál je vzhledem k dopravnímu ústrojí v relativním klidu
- materiál je vzhledem k dopravnímu ústrojí v relativním pohybu

Dle druhu přepravovaného materiálu:

- sypké hmoty
- kapaliny a plyny
- kusový materiál

Dle silového působení na manipulovaný materiál:

- gravitační dopravníky
- s mechanickým přenosem sil
- s dopravou v pomocném médiu

Dle čistoty prostředí:

- čisté prostředí (zdravotní průmysl, potravinářský průmysl)
- neutrální prostředí
- znečištěné prostředí (hutě, lomy)

Rozdělení dopravníků podle typů:

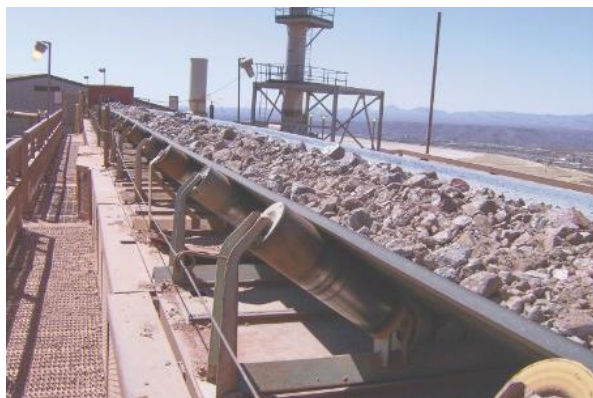
- pásové dopravníky
- řemenové dopravníky
- článkové dopravníky
- šnekové dopravníky
- aj.

3 Pásový dopravník

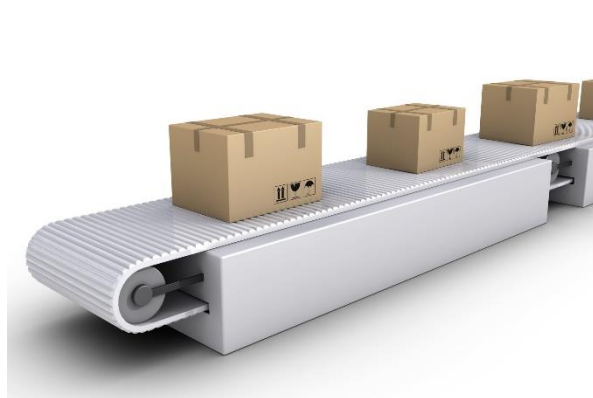
Jedná se o nejuniverzálnější druh dopravníku, který najde uplatnění téměř v každém odvětví průmyslu. Je určen pro přepravu sypkých (obr. 3.1) či kusových materiálů (obr.3.2), a to jak ve vodorovném, tak mírně šikmém směru. Dopravní pás v této aplikaci tvoří jak tažný, tak i nosný díl přepravovaného materiálu.

Jsou velmi oblíbené pro přepravu sypkých materiálů díky svým přednostem, jako je vysoká dopravní rychlost a tím i vysoký dopravní výkon (až 20 000 tun/hod), velké dopravní vzdálenosti, jednoduchá údržba, možnost nakládání a vykládání v jakémkoliv místě.

V případě šikmé dopravě jsou zde určitá omezení. Záleží na druhu dopravovaného materiálu, ale běžně bývá max. úhel stoupání 12° až 23°. V případě, že situace vyžaduje větší stoupání, dá se dosáhnout různými úpravami pásu, jako např. navulkanizováním opěrek, což umožňuje stoupání až 45° [2].



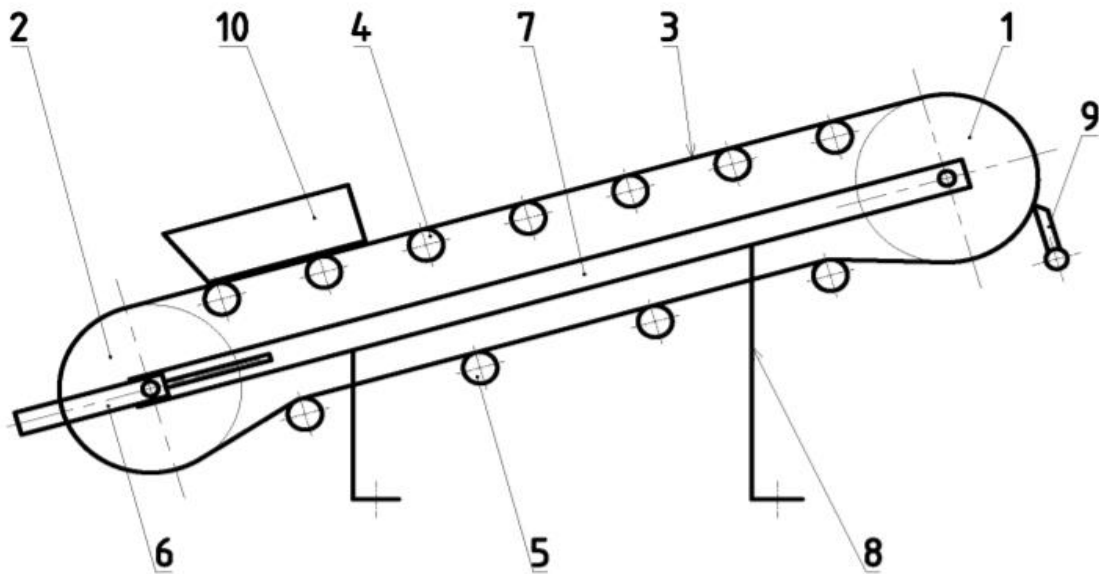
Obrázek 3.1 Pásový dopravník pro sypké materiály [15]



Obrázek 3.2 Pásový dopravník pro kusové materiály [16]

3.1 Konstrukční řešení pásového dopravníku

Na obrázků níže (obr. 3.3) je možno vidět schéma pásového dopravníku.



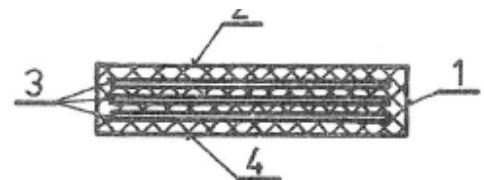
1. Hnací buben
2. Hnaný buben
3. Dopravní pás
4. Nosné válečky (horní stolice)
5. Nosné válečky (dolní stolice)
6. Napínací zařízení
7. Rám
8. Stojiny
9. Stěrač pásu
10. Násypka

Obrázek 3.3 Konstrukční řešení pásového dopravníku [4]

3.2 Vybrané části pásového dopravníku

3.2.1 Dopravní pás

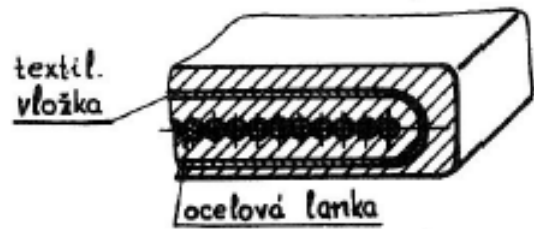
Nároky kladené na dopravní pás (obr. 3.4) jsou velmi vysoké. Musí mít zejména vysokou životnost, vysokou tuhost, malou nasákavost, schopnost odolávat cyklickému namáhání, velmi vysokou odolnost proti opotřebení otěrem a také dobrou přilnavost [3].



1. Boční ochranný okraj
2. Horní krycí vrstva
3. Pogumované textilní vložky
4. Dolní krycí vrstva

Obrázek 3.4 Skladba dopravního pásu [2]

Dopravní pás je tvořen nosnou kostrou, která přenáší tahová napětí. Nosné prvky jsou vyrobeny z textilních vložek (bavlna, polyamid), v případě nutnosti jejich kombinací. Tyto prvky jsou k sobě spojené tenkými vrstvami z měkké pryže. Horní krycí vrstva má za úkol chránit textilní nosnou kostru před abrazivními účinky materiálu, atmosférickými vlivy či případným mechanickým poškozením [2].



Obrázek 3.5 Dopravní pás s ocelovými lanky [2]

Její tloušťka bývá zpravidla 1,5 až 5 mm u horní krycí vrstvy, 1 až 2 mm u dolní krycí vrstvy, v případě bočních ochranných okrajů 5 až 20 mm [2].

V případě vysokých tahových napětí je nosná kostra tvořena ocelovými lanky (obr. 3.5).



Obrázek 3.6 Typ dopravního pásu 1 [8]



Obrázek 3.7 Typ dopravního pásu 2 [9]

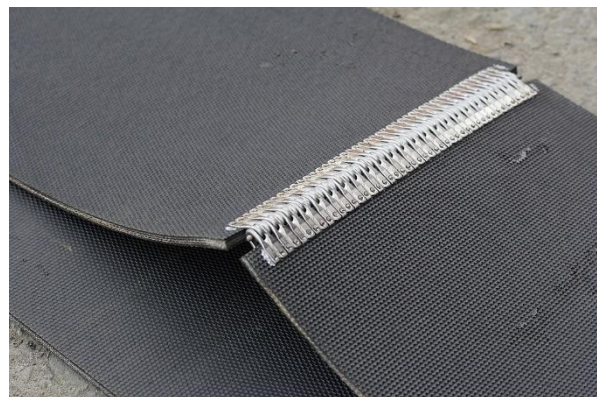
3.2.2 Spojování dopravních pásů

Z důvodu různých délek dopravních pásů, se musí jednotlivé díly navzájem spojovat. Nejzákladnější rozdělení spojování dopravních pásů je:

- a) rozebíratelné (obr. 3.8, 3.9)
- b) nerozebíratelné (obr. 3.10, 3.11)



Obrázek 3.8 Typ mechanické spojky 1 [10]



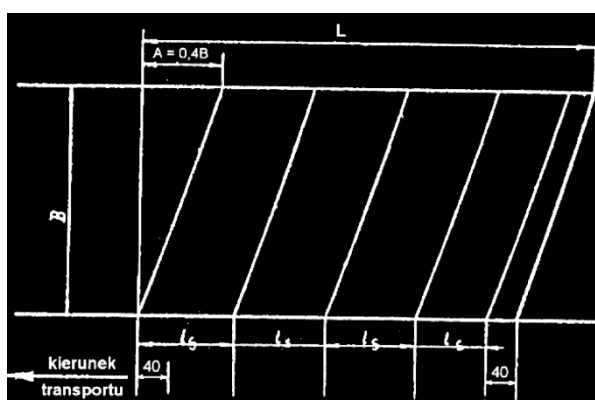
Obrázek 3.9 Typ mechanické spojky 2 [11]

Do skupiny rozebíratelných patří mechanické spojování, což je použití různých druhů spojek. Uplatnění naleznou tam, kde nehrozí poškození hnaných a hnacích bubnů právě těmito spojkami a také tam, kde se předpokládá s případným přemístěním, anebo změnou délky pásu [4].

Výhodou tohoto řešení je rychlost provedení, nevýhoda je snížená pevnost spoje (pevnost musí být vyšší alespoň o 50 % než je jmenovitá pevnost pásu)

Do skupiny nerozebíratelných spojů patří lepení pásů za studena, anebo za tepla. Výhody a nevýhody jsou opačné než u rozebíratelných spojení. Provedení jsou dvojího typu [1]:

- a) přeplátované spoje (obr 3.10)
- b) prstové spoje (obr. 3.11)



Obrázek 3.10 Přeplátovaný lepený spoj [1]



Obrázek 3.11 Prstový lepený spoj [1]

Výsledná kvalita spoje je stejná. Přeplátovaný spoj se používá u vícevložkových pásů, prstové spoje u jednovložkových pásů.

3.2.3 Trvanlivost dopravního pásu

V tabulce (tab. 1) je zaznamenána přibližná trvanlivost dopravního pásu. Je vidět, že velmi závisí na druhu přepravovaného materiálu. Také je zřejmé, že dopravníky běží nepřetržitě několik měsíců v kuse. Zastavují se až tehdy, když se dopravník poškodí, anebo pro provedení údržby [2].

Tabulka 3.1 Trvanlivost dopravního pásu [2]

Charakter provozu	Životnost pásu v měsících při třísměnném provozu
Dělní provoz :	
- hlubinný - uhelný porub	12
- sběrné třídy	24
- povrchový - třídírný uhlí	24
- zakládání hlušiny	9
Lomové dobývání :	
- stabilní doprava uhlí	24 až 36
- přemístitelné dopravníky na uhlí	18 až 24
- doprava skrývky	12 až 18
- železné rudy	11 až 14
- vápěnc, kaolín, magnezit, šterkopisky	12
Povrchový provoz :	
- hlína, cihly na staveništích	15
- zemědělské produkty : - cukrovka, brambory	24
- zrna, siláž	36
- cement, azbest, struska do 80 °C	12
- koks : - chladný	24
- horký do 120 °C	12

3.2.4 Hnací a hnaný buben

Slouží k přenosu výkonu mezi motorem a pásem. Jejich konstrukce bývá svařovaná, anebo litá. Geometrie bubnu je uzpůsobena pro co nejlepší vedení dopravního pásu [1].

Pro lepší přenos vysokého výkonu bývá povrch hnacího bubnu pro zvýšení tření např. pogumován (obr. 3.13), případně je na něm vytvořena textura (rýhy).

V praxi se běžně hnané bubny používají v místě, kde se přepravovaný materiál dostává na pás, tedy v místě násypu [2].



Obrázek 3.12 Hnaný dopravní buben [12]



Obrázek 3.13 Hnací dopravní buben [12]

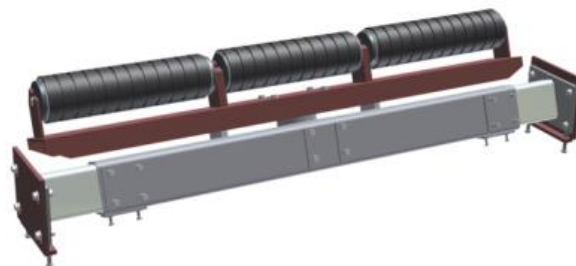
3.2.5 Válečkové stolice

Je to součást pásového dopravníku, jejíž účelem je podpírat horní větev pásu s materiálem a spodní prázdnou vratnou větev. Na trhu existuje více řešení těchto stolic, např. rovné válečkové stolice (obr. 3.14), jenž se používají právě pro prázdnou vratnou větev [5].

Ostatní druhy stolic (korýtkové, složené z např. tří válečků) jsou používány pro zatíženou horní větev dopravníku. Tyto válečky bývají velmi často nakloněné vůči vertikálnímu směru (obr. 3.15), nejčastěji o 20°, 30°, či 35°, někdy i více. Důvod naklonění válečků je zvýšení příčného průřezu materiálu na pásu [2].



Obrázek 3.14 Šikmá válečková stolice [12]



Obrázek 3.15 Vodorovná válečková stolice [17]

4 Šnekový dopravník

Další velmi používaný dopravník je šnekový dopravník. Je určen zejména k dopravě sypkých materiálů, a to jak ve vodorovné poloze, tak v mírně šikmém směru. Posuv materiálu je zprostředkován rotujícím šnekem uvnitř žlabu. Je snahou využít šnekové dopravníky k dopravě méně abrazivních materiálů, např. mouky. Je zde velké tření a životnost jednotlivých komponent výrazně klesá. Jedinou podmínkou pro pohyb materiálu je ta, že tření materiálů musí být větší u stěn žlabu než u šnek. Pokud to situace vyžaduje, je možné použít žlab prachotěsný, vzduchotěsný, nebo vodotěsný. Pohyb částic přepravovaného materiálu není přímočarý (rovnoběžný s osou šneku), ale křivočarý, což ve výsledku přispívá k lepšímu promíchání přepravovaného materiálu, čehož se v některých aplikacích aktivně využívá. Dopravní výkon se může pohybovat až $300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ na přepravní vzdálenosti až 60 m [3].

Výhody šnekových dopravníků spočívá v jejich nízké poruchovosti i při nepřetržitém provozu, nízká konstrukční náročnost, kompaktnost. Nevýhodou je velká spotřeba energie pro pohon, značné opotřebení pracovních částí [2].

4.1 Rozdělení šnekových dopravníků

Rozdělení dle [6]:

1) Podle směru dopravy

- vodorovné
- šikmé
- svislé

2) Podle smyslu stoupání šneku

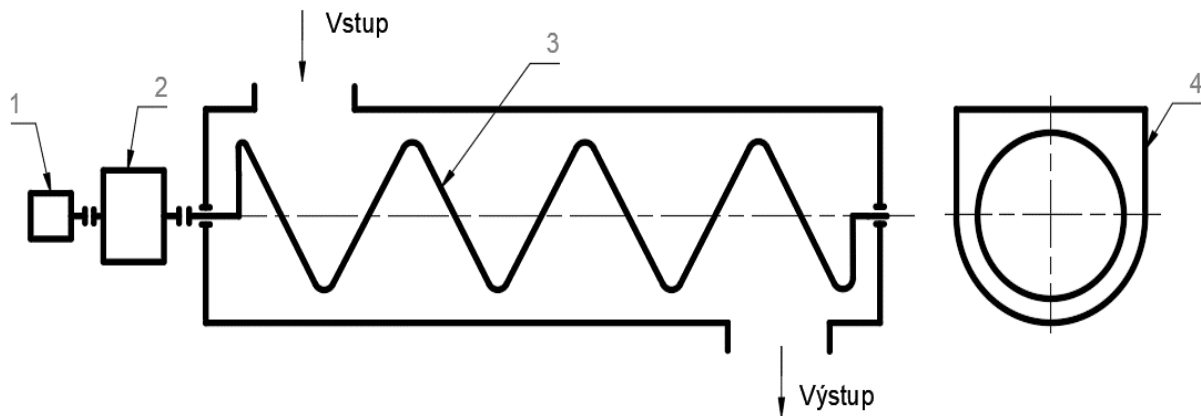
- pravotočivé
- levotočivé

3) Podle počtu šneků

- jednošnekové
- vícešnekové

4.2 Konstrukční řešení šnekového dopravníku

Šnekový dopravník (obr 5.1) se skládá ze tří hlavních částí: pohon (motor + převodovka), šnek a žlab.



- 1 - Motor
- 2 - Převodovka
- 3 - Šnek
- 4 - Žlab

Obrázek 4.1 Konstrukční řešení šnekového dopravníku

4.2.1 Pohon

Je mnoho způsobů, jakými lze dopravníky pohánět. Od běžných ručních pohonů, přes spalovací jednotky či hydraulické převody. Každý druh pohonu má typické uplatnění, např. spalovací jednotky jsou dnes nejrozšířenější pohonnou jednotkou u mobilních pracovních prostředků, jako jsou manipulační vozíky, vozidlové jeřáby atp [3].

Elektrický pohon je nejvíce používaným druhem pohonu u dopravních a manipulačních zařízení. Tento typ pohonu má řadu výhod, jako např. schopnost reverzace, vysokou účinnost, jednoduchou regulaci otáček či nízkou cenou. Nevýhodou je vysoký počet otáček elektromotoru, tudíž je potřeba velkého zpřevodování [4].

Hnací členy obvykle bývají spojeny přírubou přímo na čelo žlabu, u větších jednotek mívají samostatný základ [6].

4.2.2 Šnek

Šnek je nejdůležitější součástí šnekového dopravníku. Svou rotací posouvá přepravovaný materiál. Šnek se skládá ze šnekovice a hřídele. Hřídel může být dutá či plná a je uložena v ložiscích. Listy šnekovice jsou na hřídel přivařeny. Stoupání šnekovic je definováno normou.

Šnekovice může být [2]:

1. Plná (obr. 5.2)
2. Obvodová (obr. 5.3)
3. Lopatková (obr. 5.4)
4. Kuželová (obr. 5.5)

Plná šnekovice

Plná šnekovice bývá vyrobena z plechu a přivařuje se na hřídel přerušovaným svarem. Jednotlivé díly se vyrábějí lisováním za tepla. Mohou být také odlévány, kde jejich vnitřní průměr je uchycen na hřídel šneku. Plné šnekovice mají uplatnění zejména při transportu práškových a jemně zrnitých nelepivých materiálů, protože nedochází k nechtěnému propadávání materiálu. Vnější průměr je normalizován v rozmezí od 160 mm do 500 mm [6].

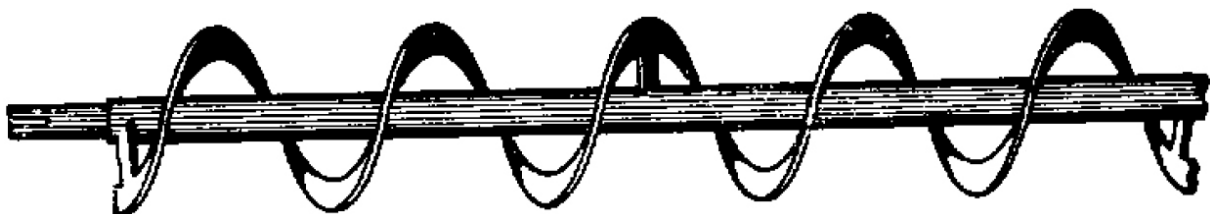


Obrázek 4.2 Plná šnekovice [3]

Obvodová šnekovice

Obvodová šnekovice se vyrábějí válcováním za tepla. Vnitřní průměr šnekovice je větší než průměr hřídele, tudíž se musí k hřídeli připevnit pomocí držáků z oceli [3].

Tento typ je používán pro dopravu tuhých, hustých a lepkavých materiálů, jako je asphalt, melasa či dehet. Vnější průměr je normalizován v rozmezí od 320 mm do 630 mm [2].



Obrázek 4.3 Obvodová šnekovice [3]

Lopátková šnekovice

Lopátková šnekovice umožňují přepravovat lepkavé materiály za současného intenzivního promíchávání. Nehodí se však pro sypké materiály [3].



Obrázek 4.4 Lopátková šnekovice [2]

Kuželová šnekovice

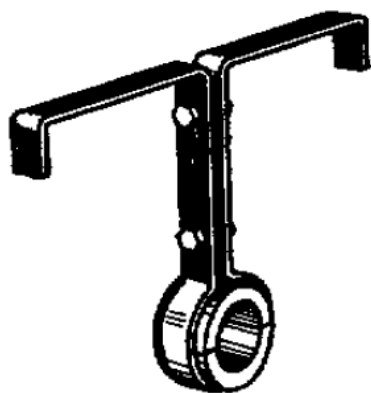
Tento typ šnekovice se používá pro speciální aplikace. Někdy se také vyrábí s proměnným stoupáním. Velmi záleží na konstrukci šnekovice v místě násypu materiálu. Pokud je zde největší průměr a největší stoupání, dochází ke stlačování přepravovaného materiálu. Když je naopak průměr a stoupání nejmenší, dochází k nakypření materiálu [6].



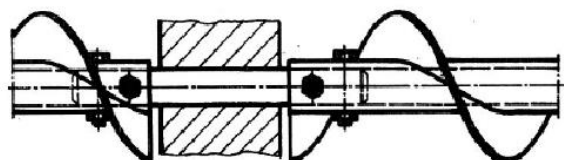
Obrázek 4.5 Kuželová šnekovice [2]

4.2.3 Uložení a spojování šneku

Šnek je uložen v ložiscích v čelech žlabu, z nichž jedno musí být axiální. V případě použití dlouhého šneku (větší než 3 m), je nutné použít ložisko i mezi čely žlabu (obr. 4.6). Jednotlivé díly jsou navzájem spojeny čepy (obr. 4.7). Ložiska se vyrábějí kluzná, jsou buďto ze šedé nebo temperované litiny, ev. z umělé hmoty [2].



Obrázek 4.7 Ložisko mezi čely žlabu [6]

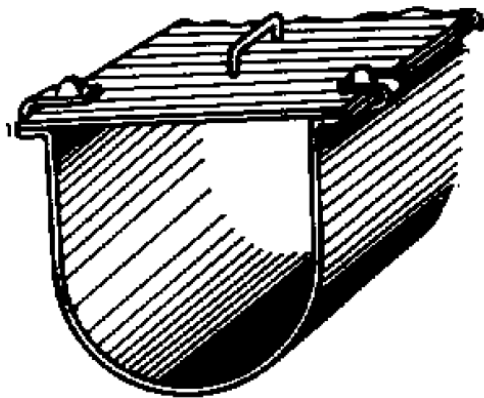


Obrázek 4.6 Spojování šnekovic čepy [2]

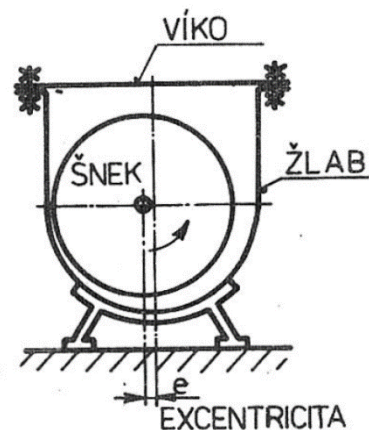
4.2.4 Žlab

Žlab tvoří nosnou část šnekového dopravníku. Sestavuje se z jednotlivých částí (obr. 4.8) do požadované délky. Délka jednoho dílu je 1,6 m až 6 m. Při sestavování je důležité dodržet jejich sousost [7].

Velikost žlabu závisí na druhu přepravovaného materiálu. Běžně se vyrábí z ocelového plechu o tloušťce 2 až 8 mm. Na vrchní části žlabu je z důvodu zvýšení jeho tuhosti vytvořena hrana, a zároveň je na něj možné přidělat víko. Pokud má být uzavření šneku vodotěsné či prachotěsné, je nutné použít těsnění (pryž apod.) [2].



Obrázek 4.9 Žlab s víkem [7]

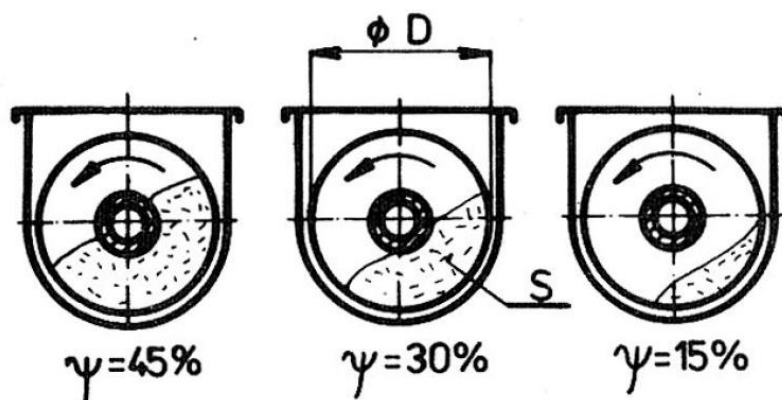


Obrázek 4.8 Excentrické uložení šneku [2]

Často se šnek ukládá do žlabu excentricky (obr. 4.9). Při otáčení šneku se totiž mezera mezi šnekem a žlabem postupně zvětšuje. Tím se dosáhne menšího opotřebení součástí a zároveň dochází k menšímu poškozování přepravovaného materiálu (jeho drcení či zadíráním mezi šnekem a žlabem) [2].

4.2.5 Přepravovaný materiál

Šnekovými dopravníky je možno přepravovat velké množství materiálů, které nejsou jinými dopravníky přepravovat. Dokážou přepravovat velmi jemné materiály, např: cement, cukr, mletý vápenec, ale také hrubé a abrazivní materiály, jako je uhlí, štěrk, asfalt.



Obrázek 4.10 Koeficient plnění [2]

Pro výpočet parametrů šnekového dopravníku je velmi důležité znát druh přepravovaného materiálu, podle kterého se následně určí potřebný výkon elektromotoru pro pohon šnekového dopravníku.

V tabulce jsou vidět doporučené otáčky šneku společně se střední dopravní rychlostí. Pro neabrazivní materiály jsou doporučené rozdílné parametry než pro materiály velmi abrazivní, jako je vyšší dopravní rychlost, větší součinitel plnění či rychlejší otáčení šneku.

S těmito hodnotami je následně možné vypočítat hlavní parametry šnekového dopravníku.

Tabulka 4.1 Doporučené parametry pro přepravované materiály [2]

Základní vlastnosti materiálu	Příklad	ψ	n [ot.s ⁻¹]	v [m.s ⁻¹]
neabrazivní, lehký práškovitý nebo zrnitý	uhelný prach, mouka zrní, prášk. vápno	0,45	2 až 4	0,5
neabrazivní zrnitý a práškovitý abrazivní	drobné uhlí, hrubozrnná sůl, cement, písek	0,30	1 až 2	0,2 až 0,4
velmi abrazivní, hrubě kusovitý, lepkavý	drobný koks, hrubozrnné vápno	0,15	0,2 až 1	0,1

5 Výpočet dopravníku

Šnekový dopravník bude sloužit k přepravě černého uhlí na vzdálenost 10 m při pracovním výkonu 50000 kg/h. Výpočet bude proveden podle normy ČSN 26 2802.

5.1 Dopravované množství

$$Q = 50000 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$$

$$\rho_v = 1100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$Q_v = \frac{Q}{\rho_v} = 45,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (1)$$

5.2 Výpočet šnekovice

Pro výpočet průměru šnekovice využijeme vzorec (2)

$$Q_v = 3600 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot s \cdot \psi \cdot n \cdot c_H \quad (2)$$

A jeho úpravou získáme vztah

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_v}{3600 \cdot \pi \cdot s \cdot \psi \cdot n \cdot c_H}} = 0,189 \text{ m} \quad (3)$$

Aby byl zajištěn bezproblémový chod dopravníku, je nutné zkontrolovat navržený průměr šnekovice vzhledem k maximální velikosti přepravované částice nezávisle na dopravním výkonu.

$$D \geq (4 \text{ až } 6) * a_{max} = 0,150 < 189 \text{ m} \rightarrow \text{podmínka je splněna} \quad (4)$$

Výrobce Rataj s.r.o. na svých internetových stránkách nabízí šnekovici s podobným rozměrem, konkrétně 180x180x60x4 mm, jenž je vyrobena z oceli s označením EN-S235.

5.3 Výkon motoru

Pro výpočet výkonu motoru, který bude pohánět dopravník, se využijeme vzorec

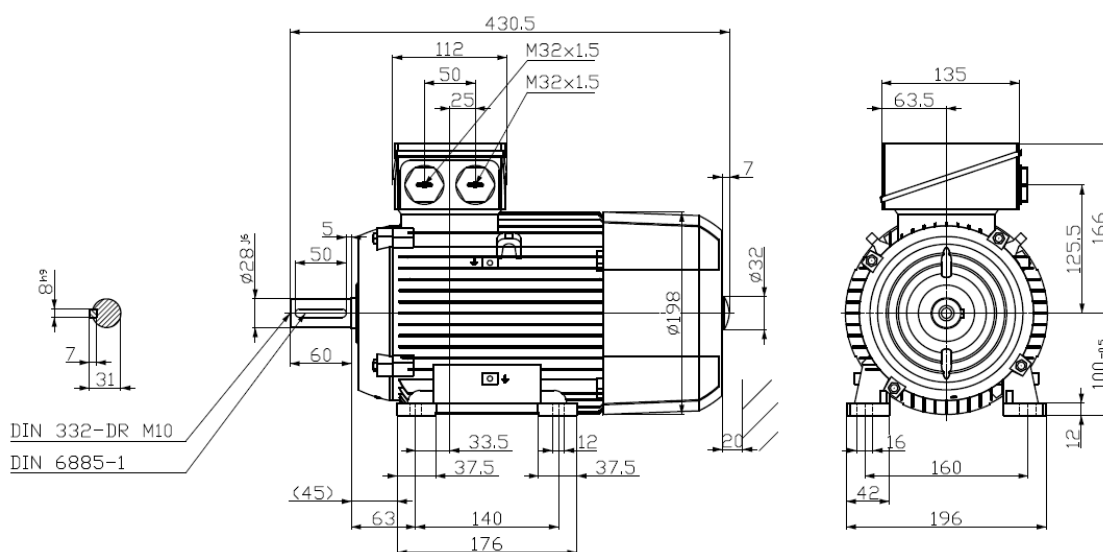
$$P = \frac{Q_v * \rho_v * g}{3600} * (l_w * w) = 4087 \text{ W} \quad (5)$$

5.3.1 Výběr elektromotoru

Pro pohon dopravníku jsem zvolil elektromotor od výrobce SIEMENS s označením 1AV1106B. Jedná se o tří-fázový elektromotor o výstupních otáčkách 1435 min⁻¹ a výstupním momentu 26,5 Nm.

Tabulka 5.1 Parametry SIEMENS 1AV1106B [13]

U [V]	Δ / Y	f [Hz]	P [kW]	P [hp]	I [A]	n [1/min]	M [Nm]	η ³⁾			cos ϕ ³⁾			I _A /I _N	M _A /M _N	T _I /T _N	M _K /M _N	T _B /T _N	IE-CL
								4/4	3/4	2/4	4/4	3/4	2/4						
230	Δ	50	4.00	-/-	14.90	1435	26.5	83.1	83.8	82.3	0.81	0.73	0.60	5.8	2.9	3.1	3.1	IE1	
400	Y	50	4.00	-/-	8.60	1435	26.5	83.1	83.8	82.3	0.81	0.73	0.60	5.8	2.9	3.1	3.1	IE1	
460	Y	60	4.59	-/-	8.30	1735	25.5	85.0	85.5	84.2	0.82	0.75	0.63	7.3	3.4	3.4	3.4	IE1	
IM B3 / IM 1001			FS 100 L		27 kg	IP55	IEC/EN 60034			IEC, DIN, ISO, VDE, EN									

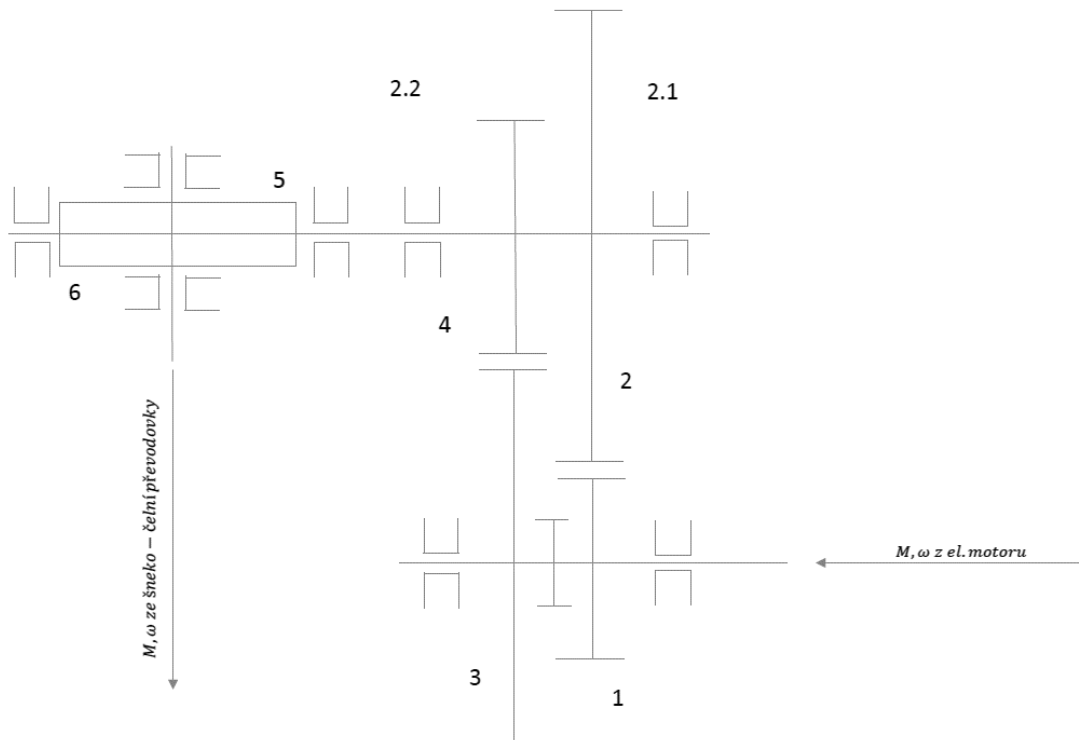


Obrázek 5.1 Elektromotor SIEMENS 1AV1106B [13]

6 Výpočtová zpráva šneko-čelní převodovky

6.1 Schéma integrovaného převodu

Zde je znázorněno kinematické schéma navrženého integrovaného převodu.



Obrázek 6.1 Kinematické schéma integrovaného převodu

6.2 Převodová čísla, otáčky, momenty

6.2.1 Převodová čísla

- celkové převodové číslo 1 (dopomala)

$$i_{C1} = \frac{\text{vstupní ot.}}{\text{výstupní ot.}} = 24 \quad (6)$$

- celkové převodové číslo 2 (dorychla)

$$i_{C2} = \frac{\text{vstupní ot.}}{\text{výstupní ot.}} = 16 \quad (7)$$

Jednotlivá převodová čísla

- čelní soukolí (1-2)
- čelní soukolí (3-4)
- šnekové soukolí

$$i_{12} = 1,5$$

$$i_{34} = 0,75$$

$$i_{56} = 16$$

6.2.2 Otáčky

- vstupní hřídel 1

$$n_{Ax} = 1440 \text{ min}^{-1}$$

Rychlost 1 (dopomala)

- hřídel 2

$$n_2 = \frac{n_{Ax}}{i_{12}} = 960 \text{ min}^{-1} \quad (8)$$

- hřídel 4

$$n_3 = \frac{n_2}{i_{56}} = 60 \text{ min}^{-1} \quad (9)$$

Rychlost 2 (dorychla)

- hřídel 2

$$n_2 = \frac{n_{Ax}}{i_{34}} = 1920 \text{ min}^{-1} \quad (10)$$

- hřídel 4

$$n_4 = \frac{n_2}{i_{56}} = 120 \text{ min}^{-1} \quad (11)$$

6.2.3 Kroutící momenty

- vstupní hřídel 1

$$M_{k1} = \frac{P}{\omega} = \frac{60P}{2\pi n_{Ax}} = 26,54 \text{ Nm} \quad (12)$$

Rychlost 1 (dopomala)

- hřídel 2

$$M_{k2} = M_{k1} * i_{12} = 39,81 \text{ Nm} \quad (13)$$

- hřídel 4

$$M_{k4} = M_{k2} * i_{56} = 636,96 \text{ Nm} \quad (14)$$

Rychlost 2 (dorychla)

- hřídel 2

$$M_{k2} = M_{k2} * i_{34} = 19,9 \text{ Nm} \quad (15)$$

- hřídel 4

$$M_{k4} = M_{k3} * i_{34 \text{ rev}} = 318,47 \text{ Nm} \quad (16)$$

6.3 Návrh čelního soukolí se šikmými zuby 1-2

Na obrázku je vidět soukolí 3-4.

Hodnoty pro kolo 1:

Materiál:	ČSN 12 050.1
R _m :	640 MPa
R _e :	390 MPa
σ _{Hlimit} :	520 MPa
σ _{Flimit} :	410 MPa

Hodnoty pro kolo 2:

Materiál:	ČSN 42 2308
R _m :	800 MPa
R _e :	480 MPa
σ _{Hlimit} :	550 MPa
σ _{Flimit} :	345 MPa



Obrázek 6.2 Soukolí se šikmými zuby 1-2

6.3.1 Volba počtu zubů

$$z_1 = 16 \text{ zubů}$$

$$z_2 = z_1 * i_{12} = 24 \text{ zubů} \quad (17)$$

6.3.2 Výpočet modulu

$$\alpha = 20^\circ$$

$$\beta = 18^\circ$$

$$\sigma_{Hlim \text{ stř.}} = 0,45 * (\sigma_{Hlim 1} + \sigma_{Hlim 2}) = 481,5 \text{ MPa} \quad (18)$$

$$\sigma_{HP} = 0,8 * \sigma_{Hlim \text{ stř.}} = 385,2 \text{ MPa} \quad (19)$$

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{K_H * M_{k1}}{\left(\frac{bWH}{d_1}\right) * \sigma_{HP}^2} * \frac{i_{12} + 1}{i_{12}}} = 53,59 \text{ mm} \quad (20)$$

$$m_t = \frac{d_1}{z_1} = 3,35 \text{ mm} \quad (21)$$

$$m_n = \frac{m_t}{\cos\beta} = 3,52 \text{ mm} \rightarrow \text{volím } 4 \text{ mm} \quad (22)$$

6.3.3 Společná geometrie

$$h_{a12} = m_n = 4 \text{ mm}$$

$$h_{f12} = 1,25 * m_n = 5 \text{ mm} \quad (23)$$

$$h_{12} = h_{a12} + h_{f12} = 9 \text{ mm} \quad (24)$$

$$p_t = \pi * \frac{m_{n12}}{\cos(\beta)} = 13,21 \text{ mm} \quad (25)$$

$$p_{tb} = p_t * \cos(\alpha_t) = 12,33 \text{ mm} \quad (26)$$

$$a_{12} = \frac{d_1 + d_2}{2} = 84,12 \text{ mm} \quad (27)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta \quad (28)$$

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2} + \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2} - a_{12} * \sin\alpha_t}{p_{tb}} = 1,46 \rightarrow \text{volím } \varepsilon = 2 \quad (29)$$

$$\varepsilon_\beta = 2 - \varepsilon_\alpha = 0,54 \quad (30)$$

$$b = \frac{\varepsilon_\beta * p_t}{\text{tg}\beta} = 21,95 \rightarrow 22 \text{ mm} \quad (31)$$

6.3.4 Čelní kolo se šikmými zuby 1

$$z_1 = 16 \text{ zubů}$$

$$d_1 = m_{t12} * z_1 = \frac{m_{n12}}{\cos(\beta)} * z_1 = 67,29 \text{ mm} \quad (32)$$

$$d_{a1} = d_1 + 2 * h_{a12} = 75,29 \text{ mm} \quad (33)$$

$$d_{f1} = d_1 - 2 * h_{f12} = 57,29 \text{ mm} \quad (34)$$

$$d_{b1} = d_1 * \cos(\beta) = 62,84 \text{ mm} \quad (35)$$

6.3.5 Náhradní kolo 1

$$r_{n1} = \frac{r_1}{\cos^2(\beta)} = 33,2 \text{ mm} \quad (36)$$

$$z_{n1} = \frac{z_1}{\cos^3(\beta)} = 18,6 \quad (37)$$

6.3.6 Čelní kolo se šikmými zuby 2

$$z_2 = 24 \text{ zubů}$$

$$d_2 = m_{t12} * z_2 = \frac{m_{n12}}{\cos(\beta)} * z_2 = 100,94 \text{ mm} \quad (38)$$

$$d_{a2} = d_2 + 2 * h_{a12} = 108,94 \text{ mm} \quad (39)$$

$$d_{f2} = d_2 - 2 * h_{f12} = 90,94 \text{ mm} \quad (40)$$

$$d_{b2} = d_2 * \cos(\beta) = 94,27 \text{ mm} \quad (41)$$

6.3.7 Náhradní kolo 2

$$r_{n2} = \frac{r_2}{\cos^2(\beta)} = 55,8 \text{ mm} \quad (42)$$

$$z_{n2} = \frac{z_2}{\cos^3(\beta)} = 27,9 \quad (43)$$

6.3.8 Silové zatížení

$$F_{t1} = F_{t2} = \frac{M_{k1}}{r_1} = 788,76 \text{ N} \quad (44)$$

$$F_{N1} = F_{N2} = \frac{F_t}{\cos\alpha * \cos(\alpha_n)} = 824,43 \text{ N} \quad (45)$$

$$F_{n1} = F_{n2} = \frac{F_t}{\cos\beta} = 829,35 \text{ N} \quad (46)$$

$$F_{a1} = F_{a2} = F_t * \operatorname{tg}(\beta_1) = 256,28 \text{ N} \quad (47)$$

$$F_{r1} = F_{r2} = \frac{F_t}{\cos\beta_1} * \operatorname{tg}\alpha_n = 301,86 \text{ N} \quad (48)$$

6.3.9 Kontrola z hlediska únavy v dotyku

$$\sigma_{Hhp1} = \frac{\sigma_{Hlim1} * Z_R}{S_{hmin}} = 400 \text{ MPa} \quad (49)$$

$$\sigma_{Hhp2} = \frac{\sigma_{Hlim2} * Z_R}{S_{hmin}} = 423,08 \text{ MPa} \quad (50)$$

$$\sigma_{HO} = Z_E * Z_H * Z_\epsilon * \sqrt{\frac{F_{t12}}{b_{wH} * d_1} * \frac{i_{12} + 1}{i_{12}}} = 375,15 \text{ MPa} \quad (51)$$

$$\sigma_H = \sigma_{HO} * \sqrt{K_H} = 393,46 \text{ MPa} < \sigma_{Hhp1}, \sigma_{Hhp2} \rightarrow \text{Vyhovuje} \quad (52)$$

6.3.10 Kontrola na dotyk jednorázovým působení největšího zatížení

$$\sigma_{HPmax1} = 2,8 * R_{p0,2} = 1092 \text{ MPa} \quad (53)$$

$$\sigma_{HPmax2} = 2,8 * R_{p0,2} = 1344 \text{ MPa} \quad (54)$$

$$\sigma_{Hmax} = \sigma_{HO} * \sqrt{K_{AS} * K_H} = 431,01 \text{ MPa} < \sigma_{HPmax1}, \sigma_{HPmax2} \rightarrow \text{Vyhovuje} \quad (55)$$

6.3.11 Kontrola z hlediska únavy v ohybu

$$\sigma_{FP1} = \frac{\sigma_{Flimb1}}{S_{fmin}} = 315,38 \text{ MPa} \quad (56)$$

$$\sigma_{FP2} = \frac{\sigma_{Flimb2}}{S_{fmin}} = 265,38 \text{ MPa} \quad (57)$$

$$\sigma_{F1} = \frac{F_{t1}}{b_{Wf} * m_n} * K_F * Y_{FS1} * Y_\epsilon * Y_{b\beta} = 29,7 \text{ MPa} < \sigma_{FP1} \rightarrow \text{Vyhovuje} \quad (58)$$

$$\sigma_{F2} = \frac{F_{t1}}{b_{Wf} * m_n} * K_F * Y_{FS2} * Y_\epsilon * Y_{b\beta} = 26,6 \text{ MPa} < \sigma_{FP2} \rightarrow \text{Vyhovuje} \quad (59)$$

6.3.12 Kontrola na ohyb při jednorázovém působení největšího zatížení

$$\sigma_{FPmax1} = 0,8 * 2,5 * \sigma_{Flimb1} = 820 \text{ MPa} \quad (60)$$

$$\sigma_{FPmax2} = 0,8 * 2,5 * \sigma_{Flimb2} = 690 \text{ MPa} \quad (61)$$

$$\sigma_{Fmax1} = \sigma_{F1} * K_{AS} = 35,64 \text{ MPa} < \sigma_{FPmax1} \rightarrow \text{Vyhovuje} \quad (62)$$

$$\sigma_{Fmax2} = \sigma_{F2} * K_{AS} = 31,92 \text{ MPa} < \sigma_{FPmax2} \rightarrow \text{Vyhovuje} \quad (63)$$

6.4 Návrh čelního ozubení se šikmými zuby 3-4

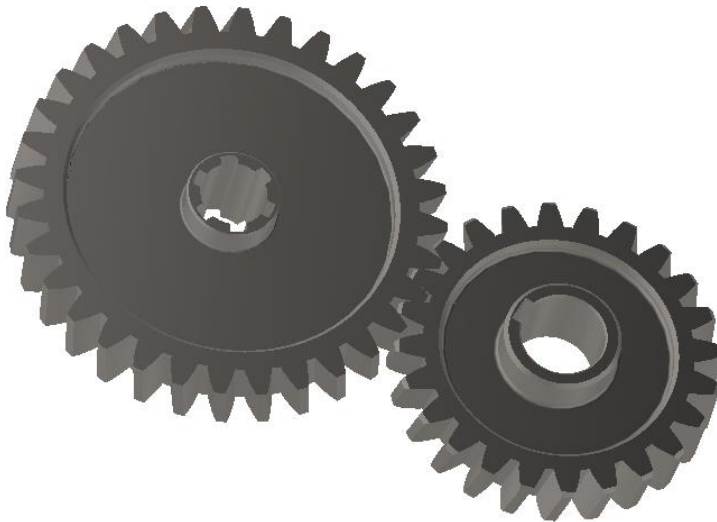
Na obrázku je vidět soukolí 3-4.

Hodnoty pro kolo 3:

Materiál:	ČSN 42 2308
Rm:	800 MPa
Re:	480 MPa
σ_{Hlimit} :	550 MPa
σ_{Flimit} :	345 MPa

Hodnoty pro kolo 4:

Materiál:	ČSN 12 050.1
Rm:	640 MPa
Re:	390 MPa
σ_{Hlimit} :	520 MPa
σ_{Flimit} :	410 MPa



Obrázek 6.3 Soukolí se šikmými zuby 3-4

6.4.1 Volba počtu zubů

$$z_3 = 32 \text{ zubů}$$

$$z_4 = z_3 * i_{24} = 24 \text{ zubů} \quad (64)$$

6.4.2 Výpočet modulu

$$\alpha = 20^\circ$$

$$\beta = 10^\circ$$

$$\sigma_{Hlim \text{ stř.}} = 0,45 * (\sigma_{Hlim 3} + \sigma_{Hlim 4}) = 481,5 \text{ MPa} \quad (65)$$

$$\sigma_{HP} = 0,8 * \sigma_{Hlim \text{ stř.}} = 385,2 \text{ MPa} \quad (66)$$

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{K_H * M_{k1}}{\left(\frac{bWH}{d_3}\right) * \sigma_{HP}^2} * \frac{i_{34} + 1}{i_{34}}} = 59,95 \text{ mm} \quad (67)$$

$$m_{t34} = \frac{d_1}{z_1} = 1,87 \text{ mm} \quad (68)$$

$$m_{n34} = \frac{m_{t34}}{\cos\beta} = 1,9 \text{ mm} \rightarrow \text{volím } 3 \text{ mm} \quad (69)$$

6.4.3 Čelní kolo 3

$$z_3 = 36 \text{ zubů}$$

$$h_{a3} = m_n + m_n * x_3 = 2,53 \text{ mm} \quad (70)$$

$$h_{f3} = 1,25 * m_n - m_n * x_3 = 3,75 \text{ mm} \quad (71)$$

$$h_3 = h_a + h_f = 6,75 \text{ mm} \quad (72)$$

$$d_3 = m_t * z_3 = 97,48 \text{ mm} \quad (73)$$

$$d_{a3} = d_3 + 2 * h_a = 102,54 \text{ mm} \quad (74)$$

$$d_{f3} = d_3 - 2 * h_{f3} = 89,04 \text{ mm} \quad (75)$$

$$d_{b3} = d_3 * \cos \alpha_t = 91,43 \text{ mm} \quad (76)$$

$$r_{v3} = r_3 * \frac{\cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_{tv})} = 48,07 \text{ mm} \quad (77)$$

6.4.4 Náhradní kolo 3

$$r_{n3} = \frac{r_3}{\cos^2(\beta)} = 50,26 \text{ mm} \quad (78)$$

$$z_{n3} = \frac{z_3}{\cos^3(\beta)} = 33,5 \quad (79)$$

6.4.5 Čelní kolo 4

$$z_4 = 24 \text{ zubů}$$

$$h_{a4} = m_n + m_n * x_4 = 2,37 \text{ mm} \quad (80)$$

$$h_{f4} = 1,25 * m_n - m_n * x_4 = 4,38 \text{ mm} \quad (81)$$

$$h_4 = h_{a4} + h_{f4} = 6,75 \text{ mm} \quad (82)$$

$$d_4 = m * z_3 = 73,11 \text{ mm} \quad (83)$$

$$d_{a4} = d_3 + 2 * h_{a4} = 77,85 \text{ mm} \quad (84)$$

$$d_{f4} = d_3 - 2 * h_{f4} = 64,35 \text{ mm} \quad (85)$$

$$d_{b4} = d_3 * \cos(\alpha_t) = 68,57 \text{ mm} \quad (86)$$

$$r_{v4} = r_4 * \frac{\cos(\alpha_t)}{\cos(\alpha_{tv})} = 36,05 \text{ mm} \quad (87)$$

6.4.6 Náhradní kolo 4

$$r_{n4} = \frac{r_4}{\cos^2(\beta)} = 37,69 \text{ mm} \quad (88)$$

$$z_{n4} = \frac{z_4}{\cos^3(\beta)} = 25,13 \quad (89)$$

6.4.7 Korekce

$$a_w = 84,12 \text{ mm}$$

$$\alpha_{tv} = \arccos\left(\frac{m_{n34}}{2 * \cos(\beta_{34})} * (z_3 + z_4) * \frac{\cos(\alpha_t)}{a_w}\right) = 18,01^\circ \quad (90)$$

$$x_3 + x_4 = \frac{(z_3 + z_4)}{2 * \operatorname{tg}(\alpha_n)} * (\operatorname{inv}(\alpha_{tv}) - \operatorname{inv}(\alpha_t)) = -0,37 \text{ mm} \quad (91)$$

$$x_3 = -0,16 \text{ mm}$$

$$x_4 = -0,21 \text{ mm}$$

6.4.8 Silové zatížení

$$F_{t3} = F_{t4} = \frac{M_{k1}}{r_3} = \frac{M_{k2.2}}{r_4} = 544,5 \text{ N} \quad (92)$$

$$F_{N3} = F_{N4} = \frac{F_{t3}}{\cos\alpha * \cos(\alpha_n)} = 551,91 \text{ N} \quad (93)$$

$$F_{n1} = F_{n2} = \frac{F_{t34}}{\cos(\beta_{34})} = 536,23 \text{ N} \quad (94)$$

$$F_{a1} = F_{a2} = F_{t34} * \operatorname{tg}(\beta_{34}) = 96,01 \text{ N} \quad (95)$$

$$F_{r1} = F_{r2} = \frac{F_{t34}}{\cos(\beta_{34})} * \operatorname{tg}\alpha_n = 201,24 \text{ N} \quad (96)$$

6.4.9 Kontrola z hlediska únavy v dotyku

$$\sigma_{Hhp3} = \frac{\sigma_{Hlim3} * Z_R}{S_{hmin}} = 423,1 \text{ MPa} \quad (97)$$

$$\sigma_{Hhp4} = \frac{\sigma_{Hlim4} * Z_R}{S_{hmin}} = 400 \text{ MPa} \quad (98)$$

$$\sigma_{HO34} = Z_E * Z_H * Z_\epsilon * \sqrt{\frac{F_{t12}}{b_{wH} * d_1} * \frac{i_{34} + 1}{i_{34}}} = 310,3 \text{ MPa} \quad (99)$$

$$\sigma_{H34} = \sigma_{HO34} * \sqrt{K_H} = 325,4 \text{ MPa} < \sigma_{Hhp3}, \sigma_{Hhp4} \rightarrow \text{Vyhovuje} \quad (100)$$

6.4.10 Kontrola na dotyk při jednorázovém působení největšího zatížení

$$\sigma_{HPmax3} = 2,8 * R_{p0,2} = 1344 \text{ MPa} \quad (101)$$

$$\sigma_{HPmax4} = 2,8 * R_{p0,2} = 1092 \text{ MPa} \quad (102)$$

$$\sigma_{Hmax34} = \sigma_H * \sqrt{K_{AS} * K_H} = 372,85 \text{ MPa} < \sigma_{HPmax1}, \sigma_{HPmax2} \quad (103)$$

\rightarrow *Vyhovuje*

6.4.11 Kontrola z hlediska únavy v ohybu

$$\sigma_{FP3} = \frac{\sigma_{Flimb3}}{S_{fmin}} = 265,4 \text{ MPa} \quad (104)$$

$$\sigma_{FP4} = \frac{\sigma_{Flimb4}}{S_{fmin}} = 315,4 \text{ MPa} \quad (105)$$

$$\sigma_{F3} = \frac{F_{t3}}{b_{Wf} * m_{n34}} * K_F * Y_{FS3} * Y_\epsilon * Y_{b\beta} = 38 \text{ MPa} < \sigma_{FP3} \rightarrow \textit{Vyhovuje} \quad (106)$$

$$\sigma_{F4} = \frac{F_{t4}}{b_{Wf} * m_{n34}} * K_F * Y_{FS4} * Y_\epsilon * Y_{b\beta} = 34 \text{ MPa} < \sigma_{FP4} \rightarrow \textit{Vyhovuje} \quad 107$$

6.4.12 Kontrola na ohyb při jednorázovém působení největšího zatížení

$$\sigma_{FPmax3} = 0,8 * 2,5 * \sigma_{Flimb3} = 690 \text{ MPa} \quad (108)$$

$$\sigma_{FPmax4} = 0,8 * 2,5 * \sigma_{Flimb4} = 820 \text{ MPa} \quad (109)$$

$$\sigma_{Fmax3} = \sigma_{F3} * K_{AS} = 45,56 \text{ MPa} < \sigma_{FPmax3} \rightarrow \textit{Vyhovuje} \quad (110)$$

$$\sigma_{Fmax4} = \sigma_{F4} * K_{AS} = 40,8 \text{ MPa} < \sigma_{FPmax4} \rightarrow \textit{Vyhovuje} \quad (111)$$

6.5 Šnekové soukolí

Na obr. je možné vidět šnekové soukolí.

Šnek:

Materiál:	ČSN 14 140
R _m :	785 MPa
Re:	540 MPa
σ _{Hlimit} :	1140 MPa
σ _{Flimit} :	450 MPa
μ ₅ :	0,3
E ₅ :	2,1*10 ⁵ MPa

Šnekový věnec:

Materiál:	ČSN 423 035
R _m :	450 MPa
Re:	240 MPa
σ _{Hlimit} :	190 MPa
τ _{Flimit} :	110 MPa
μ ₆ :	0,4
E ₆ :	1,216*10 ⁵ MPa



Obrázek 6.4 Šnekové soukolí

6.5.1 Volba počtu zubů

Šnek

$$z_5 = 2 \text{ zuby}$$

Šnekový věnec

$$z_6 = z_5 * i_{56} = 32 \text{ zubů}$$

(112)

6.5.2 Společná geometrie

$$\alpha_n = 20^\circ$$

$$q = 8$$

$$m_{n56} = 8 \text{ mm}$$

$$a_w = \frac{q}{2} * \left(\frac{z_5}{\sin(\gamma)} + \frac{z_6}{\cos(\gamma)} + 2 * x_6 \right) = 160 \text{ mm} \quad (113)$$

6.5.3 Šnek

$$h_{a5} = m_{n56} = 8 \text{ mm}$$

$$h_{f5} = 1,25 * m_{n56} = 10 \text{ mm} \quad (114)$$

$$h_5 = h_{a5} + h_{f5} = 18 \text{ mm} \quad (115)$$

$$d_5 = q * m_{n56} = 64 \text{ mm} \quad (116)$$

$$d_{a5} = d_5 + 2 * h_{a5} = 80 \text{ mm} \quad (117)$$

$$d_{f5} = d_5 - 2 * h_{f5} = 44 \text{ mm} \quad (118)$$

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{z_5}{q}\right) = 14,48^\circ \quad (119)$$

$$s_{n5} = 0,5 * \pi * m_{n56} = 12,56 \text{ mm} \quad (120)$$

$$s_{n5} = e_{n5} \quad (121)$$

$$s_{x5} = 0,5 * \pi * \frac{m_{n56}}{\cos(\gamma)} = 12,97 \text{ mm} \quad (122)$$

$$s_{x5} = e_{x5} \quad (123)$$

$$b_5 = (11 + 0,0 * z_6) * m_{n56} = 103,36 \text{ mm} - \quad (124)$$

> volím 210 mm – délka šneku

6.5.4 Šnekový věnec

$$h_{a6} = m_{n56} * (h_a^* + x_6) = 3,81 \text{ mm} \quad (125)$$

$$h_{f6} = m_{n56} * (h_a^* + c - x_6) = 14,19 \text{ mm} \quad (126)$$

$$h_6 = h_{a6} + h_{f6} = 18 \text{ mm} \quad (127)$$

$$d_6 = m_{n56} * z_6 = 264,4 \text{ mm} \quad (128)$$

$$d_{a6} = d_6 + 2 * h_{a6} = 272,03 \text{ mm} \quad (129)$$

$$d_{f6} = d_6 - 2 * h_{f6} = 272,03 \text{ mm} \quad (130)$$

$$d_{w6} = d_6 + x_6 * m_{n56} = 256,03 \text{ mm} \quad (131)$$

$$s_{n6} = 0,5 * \pi * m_{n56} + 2 * x_6 * m_{n56} * \text{tg}(\alpha_n) = 9,51 \text{ mm} \quad (132)$$

$$e_{n6} = 0,5 * \pi * m_{n56} - 2 * x_6 * m_{n56} * \text{tg}(\alpha_n) = 15,61 \text{ mm} \quad (133)$$

$$s_{x6} = \frac{s_{n6}}{\cos(\gamma)} = 9,82 \text{ mm} \quad (134)$$

$$e_{x6} = \frac{e_{n6}}{\cos(\gamma)} = 16,2 \text{ mm} \quad (135)$$

$$b_6 = 0,75 * \left(1 + \frac{2}{q}\right) * d_6 = 60 \text{ mm} \quad (136)$$

6.5.5 Rychlostní poměry (dopomala)

$$\omega_{2.1} = 2 * \pi * \frac{n_{3.1}}{60} = 6,28 \text{ rad/s} \quad (137)$$

$$\omega_{1.1} = 2 * \pi * \frac{n_{2.1}}{60} = 100,48 \text{ rad/s} \quad (138)$$

$$v_{1.1} = \pi * d_5 * n_{2.1} = 3,22 \text{ m/s} \quad (139)$$

$$v_{2.1} = v_{1.1} * \operatorname{tg}(\gamma) = 0,83 \text{ m/s} \quad (140)$$

$$v_{t1.1} = v_{1.1} * \cos(\gamma) = 3,11 \text{ m/s} \quad (141)$$

$$v_{t2.1} = v_{t1.1} * \sin(\gamma) = 0,21 \text{ m/s} \quad (142)$$

$$v_{k1} = v_{t1.1} + v_{t2.1} = 3,32 \text{ m/s} \quad (143)$$

6.5.6 Rychlostní poměry (dorychla)

$$\omega_{1.2} = 2 * \pi * \frac{n_{2.2}}{60} = 200,96 \text{ rad/s} \quad (144)$$

$$\omega_{2.2} = 2 * \pi * \frac{n_{3.2}}{60} = 12,56 \text{ rad/s} \quad (145)$$

$$v_{1.2} = \pi * d_5 * n_{2.1} = 6,34 \text{ m/s} \quad (146)$$

$$v_{2.2} = v_{1.1} * \operatorname{tg}(\gamma) = 1,66 \text{ m/s} \quad (147)$$

$$v_{t1.2} = v_{1.1} * \cos(\gamma) = 6,22 \text{ m/s} \quad (148)$$

$$v_{t2.2} = v_{t1.1} * \sin(\gamma) = 0,42 \text{ m/s} \quad (149)$$

$$v_{k2} = v_{t1.2} + v_{t2.2} = 6,64 \text{ m/s} \quad (150)$$

6.5.7 Silové zatížení (dopomala)

$$F_{t5.1} = -F_{a6.1} = \frac{M_{k3.1}}{r_5} = 1244,03 \text{ N} \quad (151)$$

$$F_{t6.1} = -F_{a5.1} = \frac{M_{k3.1}}{r_6} = 4253,6 \text{ N} \quad (152)$$

$$R'_{6.1} = -R'_{6.1} = \frac{F_{a5.1}}{\cos(\varphi^* + \gamma)} = 4443,58 \text{ N} \quad (153)$$

$$F_{T5.1} = -F_{T6.1} = R'_{5.1} * \sin(\varphi^* + \gamma) = 180,56 \text{ N} \quad (154)$$

$$F_{r5.1} = -F_{r6.1} = \frac{F_{t5.1} * tg(\alpha_n)}{\sin(\varphi^* + \gamma)} = 1565,34 N \quad (155)$$

6.5.8 Silové zatížení (dorychla)

$$F_{t5.2} = -F_{a6.2} = \frac{M_{k2.2}}{r_5} = 622,01 N \quad (156)$$

$$F_{t6.2} = -F_{a5.2} = \frac{M_{k3.2}}{r_6} = 2126,8 N \quad (157)$$

$$R'_{5.2} = -R'_{6.2} = \frac{F_{a5.2}}{\cos(\varphi^* + \gamma)} = 2221,79 N \quad (158)$$

$$F_{T5.2} = -F_{T6.2} = R'_{5.2} * \sin(\varphi^* + \gamma) = 90,28 N \quad (159)$$

$$F_{r5.2} = -F_{r6.2} = \frac{F_{t5.2} * tg(\alpha_n)}{\sin(\varphi^* + \gamma)} = 782,68 N \quad (160)$$

6.5.9 Kontrola dotykového napětí (dopomala)

$$\sigma_H = Z_M * Z_H * \left(\frac{2000 * K_H * M_{k3.1}}{d_6^2 * b_6} \right)^{\frac{1}{2}} = 180,3 MPa \quad (161)$$

$$\sigma_{H\ do\ v} = \sigma_c * \left(\frac{25}{N_5} \right)^{\frac{1}{8}} = 190,88 MPa \quad (162)$$

$$Z_N = \left(\frac{25 * 10^7}{60 * 25000 * 60} \right)^{\frac{1}{8}} = 1,14 \quad (163)$$

$$S_H = \frac{\sigma_{H\ do\ v} * \sigma_H}{Z_N} = 1,12 \rightarrow Vyhovuje \quad (164)$$

6.5.10 Kontrola dotykového napětí (dorychla)

$$\sigma_H = Z_M * Z_H * \left(\frac{2000 * K_H * M_{k3.2}}{d_6^2 * b_6} \right)^{\frac{1}{2}} = 127,5 MPa \quad (165)$$

$$\sigma_{H\ do\ v} = \sigma_c * \left(\frac{25}{N_6} \right)^{\frac{1}{8}} = 175,04 MPa \quad (166)$$

$$Z_N = \left(\frac{25 * 10^7}{60 * 25000 * 120} \right)^{\frac{1}{8}} = 1,04 \quad (167)$$

$$S_H = \frac{\sigma_{H\ do\ v} * \sigma_H}{Z_N} = 1,35 \rightarrow Vyhovuje \quad (168)$$

6.5.11 Kontrola zubů šnekového kola na ohyb (dopomala)

$$z_v = \frac{z_6}{\cos(\gamma)} = 35 \text{ zubů} \quad (169)$$

$$\sigma_F = \frac{2000 * M_{k\ 3.1} * z_v * Y_F * K_H}{d_6 * b_6 * m_{n56}} = 10,69 \text{ MPa} \quad (170)$$

$$\sigma_{F\ dov} = \left(\frac{25 * \sigma_c}{K_\beta * N_5} \right) = 61,6 \text{ MPa} \quad (171)$$

$$S_F = \frac{\sigma_{F\ dov}}{\sigma_F} = 5,76 \rightarrow \text{Vyhovuje} \quad (172)$$

6.5.12 Kontrola zubů šnekového kola na ohyb (dorychla)

$$\sigma_F = \frac{2000 * M_{k\ 3.2} * z_v * Y_F * K_H}{d_6 * b_6 * m_{n56}} = 5,35 \text{ MPa} \quad (173)$$

$$\sigma_{F\ dov} = \left(\frac{25 * \sigma_c}{K_\beta * N_5} \right) = 57,04 \text{ MPa} \quad (174)$$

$$S_F = \frac{\sigma_{F\ dov}}{\sigma_F} = 10,67 \rightarrow \text{Vyhovuje} \quad (175)$$

6.6 Hřídel 1

6.6.1 Dopomala

Na obrázku níže je možno vidět hřídel 1.



Obrázek 6.5 Hřídel 1

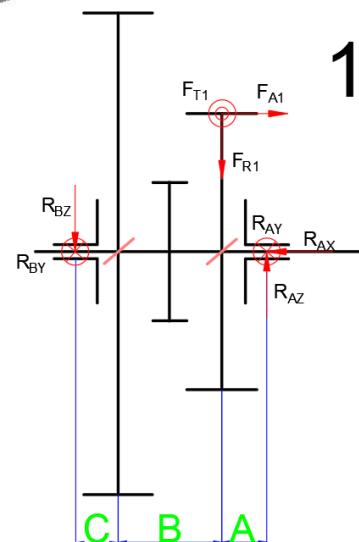
$$a = 10 \text{ mm}$$

$$b = 40 \text{ mm}$$

$$c = 10 \text{ mm}$$

$$F_{r1} = 301,86 \text{ N}$$

$$F_{a1} = 256,28 \text{ N}$$



Obrázek 6.6 Hřídel 1 - silové zobrazení (dopomala)

$$r_1 = 33,65 \text{ mm}$$

$$M_{k1} = 26,54 \text{ Nm}$$

Reakce

$$R_{ax} = F_{a1} = 256,28 \text{ N} \quad (176)$$

$$R_{By} = F_{t1} - R_{Ay} = 131,46 \text{ N} \quad (177)$$

$$R_{Bz} = -F_{r1} + R_{Az} = 93,41 \text{ N} \quad (178)$$

$$R_{Ay} = \frac{(F_{t1} * (a + b))}{a + b + c} = 657,3 \text{ N} \quad (179)$$

$$R_{Az} = \frac{(F_{a1} * r_1 + F_{r1} * (b + c))}{a + b + c} = 385,27 \text{ N} \quad (180)$$

$$R_A = \sqrt{R_{Ax}^2 + R_{Ay}^2 + R_{Az}^2} = 808,68 \text{ N} \quad (181)$$

$$R_B = \sqrt{R_{By}^2 + R_{Bz}^2} = 161,27 \text{ N} \quad (182)$$

Ohybové momenty

$$M_{O1} = F_{a1} * r_1 = 8,62 \text{ Nm} \quad (183)$$

$$M_{O Bxz} = R_{Bz} * (b + c) = 4,67 \text{ Nm} \quad (184)$$

$$M_{O Bxy} = R_{By} * (b + c) = 6,57 \text{ Nm} \quad (185)$$

$$M_{OB} = \sqrt{M_{O Bxz}^2 + M_{O Bxy}^2} = 8,06 \text{ Nm} \quad (186)$$

Průměr hřídele

Materiál: 12 050

$$R_e = 300 \text{ MPa}$$

$$\sigma_C = 0,7 * R_e = 0,7 * 305 = 210 \text{ MPa} \quad (187)$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 * M_{k1}}{\pi * \sigma_C}} = 10,88 \text{ mm} \rightarrow d = 15 \text{ mm} \quad (188)$$

Bezpečnost hřídele

$$W_o = \frac{\pi * d^3}{32} = 3,31 * 10^{-7} \text{ m}^3 \quad (189)$$

$$\sigma_o = \frac{M_{oMAX}}{W_o} = 26,1 \text{ MPa} \quad (190)$$

$$k_o = \frac{\sigma_c}{\sigma_o} = 8,07 \quad (191)$$

$$W_k = \frac{\pi * d^3}{16} = 6,63 * 10^{-7} \text{ m}^3 \quad (192)$$

$$\tau_k = \frac{M_{k1}}{W_k} = 40,05 \quad (193)$$

$$k_\tau = \frac{R_e}{\tau_k} = 7,49 \quad (194)$$

$$k = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{k_o^2} + \frac{1}{k_\tau^2}}} = 5,49 \quad (195)$$

6.6.2 Dorychla

$$a = 10 \text{ mm}$$

$$b = 40 \text{ mm}$$

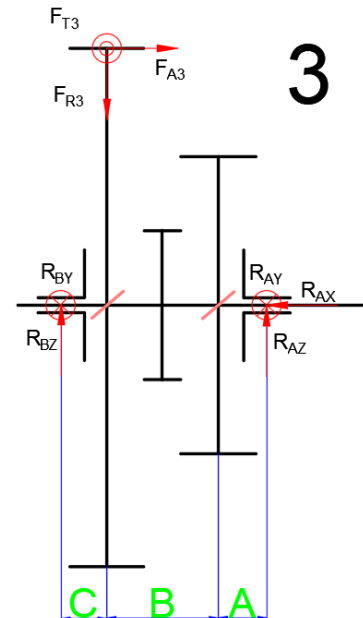
$$c = 10 \text{ mm}$$

$$F_{r3} = 201,24 \text{ N}$$

$$F_{a3} = 96,01 \text{ N}$$

$$r_3 = 48,74 \text{ mm}$$

$$M_{k1} = 26,54 \text{ N}$$



Obrázek 6.7 Hřídel 1 - silové zobrazení (dorychla)

Reakce

$$R_{ax} = F_{a3} = 96,01 \text{ N} \quad (196)$$

$$R_{By} = F_{t3} - R_{Ay} = 453,75 \text{ N} \quad (197)$$

$$R_{Bz} = F_{r3} - R_{Az} = 89,71 \text{ N} \quad (198)$$

$$R_{Ay} = \frac{(F_{t3} * c)}{a + b + c} = 90,75 \text{ N} \quad (199)$$

$$R_{Az} = \frac{(F_{a3} * r_1 + F_{r3} * c)}{a + b + c} = 111,53 \text{ N} \quad (200)$$

$$R_A = \sqrt{R_{Ax}^2 + R_{Ay}^2 + R_{Az}^2} = 172,9 \text{ N} \quad (201)$$

$$R_B = \sqrt{R_{By}^2 + R_{Bz}^2} = 462,53 \text{ N} \quad (202)$$

Ohybové momenty

$$M_{O1} = F_{a3} * r_3 = 4,68 \text{ Nm} \quad (203)$$

$$M_{O_{Bxz}} = R_{Az} * (a + b) = 5,58 \text{ Nm} \quad (204)$$

$$M_{O_{Bxy}} = R_{Ay} * (a + b) = 4,54 \text{ Nm} \quad (205)$$

$$M_{OB} = \sqrt{M_{O_{Bxz}}^2 + M_{O_{Bxy}}^2} = 7,19 \text{ Nm} \quad (206)$$

Průměr hřídele

Materiál: 12 050

$$R_e = 300 \text{ MPa}$$

$$\sigma_C = 0,7 * R_e = 0,7 * 305 = 210 \text{ MPa} \quad (207)$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 * M_{k1}}{\pi * \sigma_C}} = 10,88 \text{ mm} \rightarrow d = 15 \text{ mm} \quad (208)$$

Bezpečnost hřídele

$$W_o = \frac{\pi * d^3}{32} = 3,31 * 10^{-7} \text{ m}^3 \quad (209)$$

$$\sigma_o = \frac{M_{oMAX}}{W_o} = 21,7 \text{ MPa} \quad (210)$$

$$k_o = \frac{\sigma_C}{\sigma_o} = 9,68 \quad (211)$$

$$W_k = \frac{\pi * d^3}{16} = 6,63 * 10^{-7} \text{ m}^3 \quad (212)$$

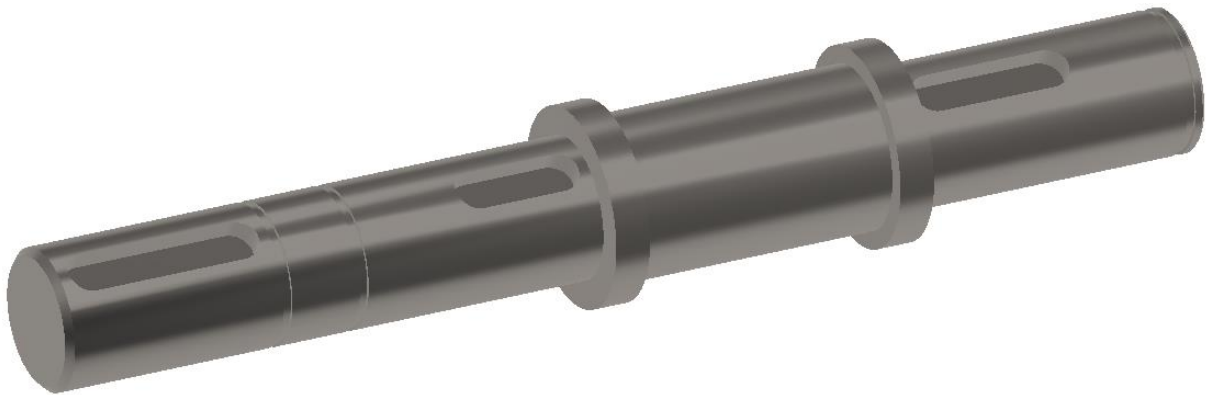
$$\tau_k = \frac{M_{k1}}{W_k} = 40,05 \quad (213)$$

$$k_\tau = \frac{R_e}{\tau_k} = 7,49 \quad (214)$$

$$k = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{k_o^2} + \frac{1}{k_\tau^2}}} = 5,92 \quad (215)$$

6.7 Hřídel 2

Na obrázku níže je možno vidět hřídel 2.



Obrázek 6.8 Hřídel 2

6.7.1 Dopomala

$$a = 10 \text{ mm}$$

$$b = 40 \text{ mm}$$

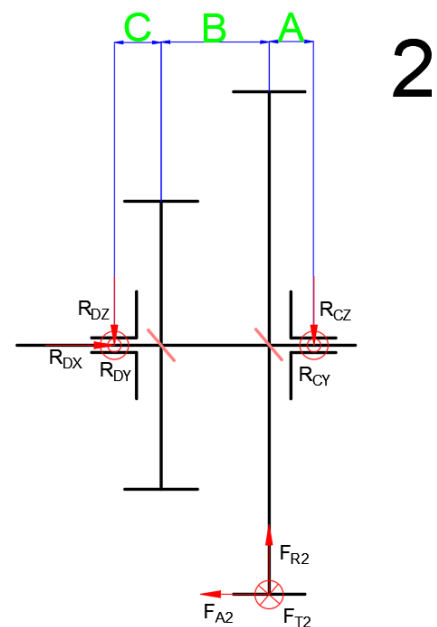
$$c = 10 \text{ mm}$$

$$F_{r2} = 301,86 \text{ N}$$

$$F_{a2} = 256,28 \text{ N}$$

$$r_2 = 50,47 \text{ mm}$$

$$M_{k2.1} = 39,81 \text{ Nm}$$



Obrázek 6.9 Hřídel 2 - silové zobrazení (dopomala)

Reakce

$$R_{Cy} = F_{t2} - R_{Dy} = 262,92 \text{ N} \quad (216)$$

$$R_{Cz} = F_{r2} - R_{Dz} = 35,97 \text{ N} \quad (217)$$

$$R_{Dx} = F_{a2} = 256,28 \text{ N} \quad (218)$$

$$R_{Dy} = \frac{F_{t2} * a}{a + b + c} = 525,84 \text{ N} \quad (219)$$

$$R_{Dz} = \frac{F_{r2} * a + F_{a2} * r_2}{a + b + c} = 35,97 \text{ N} \quad (220)$$

$$R_D = \sqrt{R_{Dx}^2 + R_{Dy}^2 + R_{Dz}^2} = 642,56 \text{ N} \quad (221)$$

$$R_C = \sqrt{R_{Cy}^2 + R_{Cz}^2} = 265,37 \text{ N} \quad (222)$$

Ohybové momenty

$$M_{O_2} = F_{a2} * r_2 = 12,93 \text{ Nm} \quad (223)$$

$$M_{OD_{xz}} = R_{Dz} * (b + c) = 13,29 \text{ Nm} \quad (224)$$

$$M_{OD_{xy}} = R_{Dy} * (b + c) = 26,29 \text{ Nm} \quad (225)$$

$$M_{OD_2} = \sqrt{M_{OD_{xz}}^2 + M_{OD_{xy}}^2} = 29,46 \text{ Nm} \quad (226)$$

Průměr hřídele

Materiál: 12 050

$$R_e = 300 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = 0,7 * R_e = 0,7 * 305 = 210 \text{ MPa} \quad (227)$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 * M_{k1}}{\pi * \sigma_c}} = 12,45 \text{ mm} \rightarrow d = 20 \text{ mm} \quad (228)$$

Bezpečnost hřídele

$$W_o = \frac{\pi * d^3}{32} = 7,85 * 10^{-7} \text{ m}^3 \quad (229)$$

$$\sigma_o = \frac{M_{oMAX}}{W_o} = 37,51 \text{ MPa} \quad (230)$$

$$k_o = \frac{\sigma_c}{\sigma_o} = 5,6 \quad (231)$$

$$W_k = \frac{\pi * d^3}{16} = 1,57 * 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (232)$$

$$\tau_k = \frac{M_{k1}}{W_k} = 25,34 \quad (233)$$

$$k_\tau = \frac{R_e}{\tau_k} = 11,84 \quad (234)$$

$$k = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{k_o^2} + \frac{1}{k_\tau^2}}} = 5,06 \quad (235)$$

6.7.2 Dorychla

$$a = 10 \text{ mm}$$

$$b = 40 \text{ mm}$$

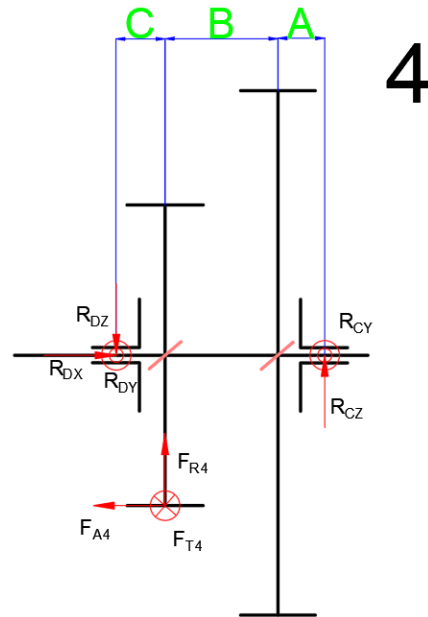
$$c = 10 \text{ mm}$$

$$F_{r4} = 201,24 \text{ N}$$

$$F_{a4} = 96,01 \text{ N}$$

$$r_4 = 36,56 \text{ mm}$$

$$M_{k2.2} = 19,9 \text{ Nm}$$



Obrázek 6.10 Hřídel 2 - silové zobrazení (dorychla)

Reakce

$$R_{Cy} = F_{t4} - R_{Dy} = 90,75 \text{ N} \quad (236)$$

$$R_{Cz} = -F_{r4} + R_{Dz} = 24,95 \text{ N} \quad (237)$$

$$R_{Dx} = F_{a4} = 96,01 \text{ N} \quad (238)$$

$$R_{Dy} = \frac{F_{t4} * (a + b)}{a + b + c} = 453,75 \text{ N} \quad (239)$$

$$R_{Dz} = \frac{F_{r4} * (a + b) + F_{a4} * r_4}{a + b + c} = 226,19 \text{ N} \quad (240)$$

$$R_D = \sqrt{R_{Dx}^2 + R_{Dy}^2 + R_{Dz}^2} = 516,02 \text{ N} \quad (241)$$

$$R_C = \sqrt{R_{Cx}^2 + R_{Cy}^2} = 94,12 \text{ N} \quad (242)$$

Ohybové momenty

$$M_{O2} = F_{a4} * r_4 = 3,51 \text{ Nm} \quad (243)$$

$$M_{O4xz} = R_{Dz} * c = 2,26 \text{ Nm} \quad (244)$$

$$M_{O4xy} = R_{Dy} * c = 4,54 \text{ Nm} \quad (245)$$

$$M_{OD4} = \sqrt{M_{ODxz}^2 + M_{ODxy}^2} = 5,07 \text{ Nm} \quad (246)$$

Průměr hřídele

$$\text{Materiál: 12 050} \quad (247)$$

$$R_e = 300 \text{ MPa} \quad (248)$$

$$\sigma_c = 0,7 * R_e = 0,7 * 305 = 210 \text{ MPa} \quad (249)$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 * M_{k1}}{\pi * \sigma_c}} = 12,45 \text{ mm} \rightarrow d = 20 \text{ mm} \quad (250)$$

Bezpečnost hřídele

$$W_o = \frac{\pi * d^3}{32} = 7,85 * 10^{-7} \text{ m}^3 \quad (251)$$

$$\sigma_o = \frac{M_{oMAX}}{W_o} = 6,46 \text{ MPa} \quad (252)$$

$$k_o = \frac{\sigma_c}{\sigma_o} = 32,53 \quad (253)$$

$$W_k = \frac{\pi * d^3}{16} = 1,57 * 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (254)$$

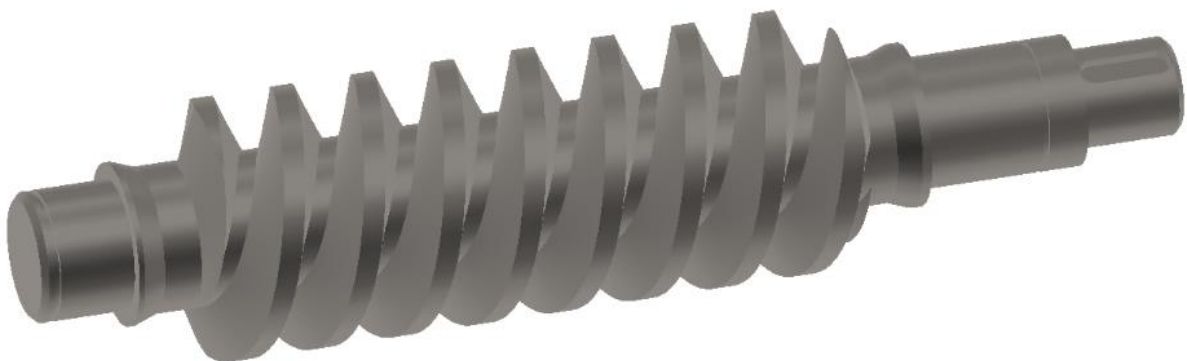
$$\tau_k = \frac{M_{k1}}{W_k} = 12,67 \quad (255)$$

$$k_\tau = \frac{R_e}{\tau_k} = 23,68 \quad (256)$$

$$k = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{k_o^2} + \frac{1}{k_\tau^2}}} = 19,14 \quad (257)$$

6.8 Hřídel 3 (šnek)

Na obrázku níže je možno vidět šnek.



Obrázek 6.11 Šnek

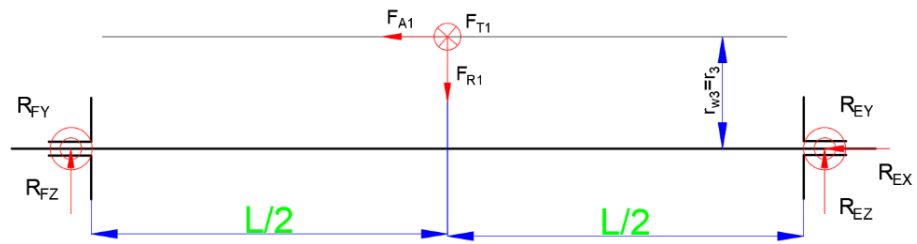
6.8.1 Dopomala

$$L = 300 \text{ mm}$$

$$F_{r5.1} = 1565,34 \text{ N}$$

$$F_{a5.1} = 4443,57 \text{ N}$$

$$r_5 = 32 \text{ mm}$$



Obrázek 6.12 Šnek - silové zobrazení (dopomala)

Reakce

$$R_{Ex} = F_{a5.1} = 4443,57 \text{ N} \quad (258)$$

$$R_{Fy} = F_{t5.1} - R_{Ey.1} = 622,01 \text{ N} \quad (259)$$

$$R_{Fz} = F_{r5.1} - R_{Ez.1} = 105,55 \text{ N} \quad (260)$$

$$R_{Ez} = \frac{(F_{a5.1} * r_5 + F_{r5.1} * L/2)}{L} = 1459,78 \text{ N} \quad (261)$$

$$R_{Ey} = \frac{F_{t5.1} * L/2}{L} = 622,01 \text{ N} \quad (262)$$

$$R_E = \sqrt{R_{Ex}^2 + R_{Ey}^2 + R_{Ez}^2} = 4718,39 \text{ N} \quad (263)$$

$$R_F = \sqrt{R_{Fx}^2 + R_{Fy}^2} = 630,91 \text{ N} \quad (264)$$

Ohybové momenty

$$M_{O4} = F_{a5.1} * r_5 = 142,19 \text{ Nm} \quad (265)$$

$$M_{OFxz} = R_{Ez} * \frac{L}{2} = 218,97 \text{ Nm} \quad (266)$$

$$M_{OFxy} = R_{Ey} * \frac{L}{2} = 93,3 \text{ Nm} \quad (267)$$

$$M_{OF} = \sqrt{M_{OFxz}^2 + M_{OFxy}^2} = 238,02 \text{ Nm} \quad (268)$$

Průměr hřídele

Materiál: 14 140

$$R_e = 540 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = 0,7 * R_e = 0,7 * 540 = 210 \text{ MPa} \quad (269)$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 * M_{k2}}{\pi * \sigma_C}} = 12,45 \text{ mm} \rightarrow d = 44 \text{ mm} \quad (270)$$

Bezpečnost hřídele

$$W_o = \frac{\pi * d^3}{32} = 8,36 * 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (271)$$

$$\sigma_o = \frac{M_{oMAX}}{W_o} = 28,46 \text{ MPa} \quad (272)$$

$$k_o = \frac{\sigma_C}{\sigma_o} = 13,28 \quad (273)$$

$$W_k = \frac{\pi * d^3}{16} = 1,67 * 10^{-5} \text{ m}^3 \quad (274)$$

$$\tau_k = \frac{M_{k2}}{W_k} = 2,38 \text{ MPa} \quad (275)$$

$$k_\tau = \frac{R_e}{\tau_k} = 226,88 \quad (276)$$

$$k = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{k_o^2} + \frac{1}{k_\tau^2}}} = 13,26 \quad (277)$$

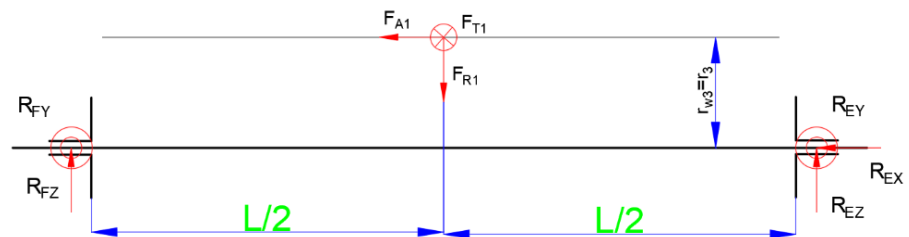
6.8.2 Dorychla

L= 300 mm

$$F_{r5.2} = 782,67 \text{ N}$$

$$F_{a5.2} = 2221,79 \text{ N}$$

$$r_5 = 32 \text{ mm}$$



Obrázek 6.13 Šnek - silové zobrazení (dorychla)

Reakce

$$R_{Ex} = F_{a5.2} = 2221,79 \text{ N} \quad (278)$$

$$R_{Fy} = F_{t5.2} - R_{Ey} = 311,01 \text{ N} \quad (279)$$

$$R_{Fz} = F_{r5} - R_{Ez} = 105,55 \text{ N} \quad (280)$$

$$R_{Ez} = \frac{(F_{a5.2} * r_5 + F_{r5.2} * L/2)}{L} = 729,89 \text{ N} \quad (281)$$

$$R_{Ey} = \frac{F_{t5.2} * L/2}{L} = 311,01 \text{ N} \quad (282)$$

$$R_E = \sqrt{R_{Ex}^2 + R_{Ey}^2 + R_{Ez}^2} = 2359,2 \text{ N} \quad (283)$$

$$R_F = \sqrt{R_{Fx}^2 + R_{Fy}^2} = 315,45 \text{ N} \quad (284)$$

Ohybové momenty

$$M_{O4} = F_{a5.2} * r_5 = 71,1 \text{ Nm} \quad (285)$$

$$M_{OFxz} = R_{Ez} * \frac{L}{2} = 109,48 \text{ Nm} \quad (286)$$

$$M_{OFxy} = R_{Ey} * \frac{L}{2} = -46,65 \text{ Nm} \quad (287)$$

$$M_{OF} = \sqrt{M_{OFxz}^2 + M_{OFxy}^2} = 119,01 \text{ Nm} \quad (288)$$

Průměr hřídele

Materiál: 14 140

$$Re = 540 \text{ MPa} \quad (289)$$

$$\sigma_C = 0,7 * Re = 0,7 * 305 = 378 \text{ MPa} \quad (290)$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 * M_{k2}}{\pi * \sigma_C}} = 12,45 \text{ mm} \rightarrow d = 44 \text{ mm} \quad (291)$$

Bezpečnost hřídele

$$W_o = \frac{\pi * d^3}{32} = 8,36 * 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (292)$$

$$\sigma_o = \frac{M_{oMAX}}{W_o} = 12,23 \text{ MPa} \quad (293)$$

$$k_o = \frac{\sigma_C}{\sigma_o} = 26,56 \quad (294)$$

$$W_k = \frac{\pi * d^3}{16} = 1,67 * 10^{-5} \text{ m}^3 \quad (295)$$

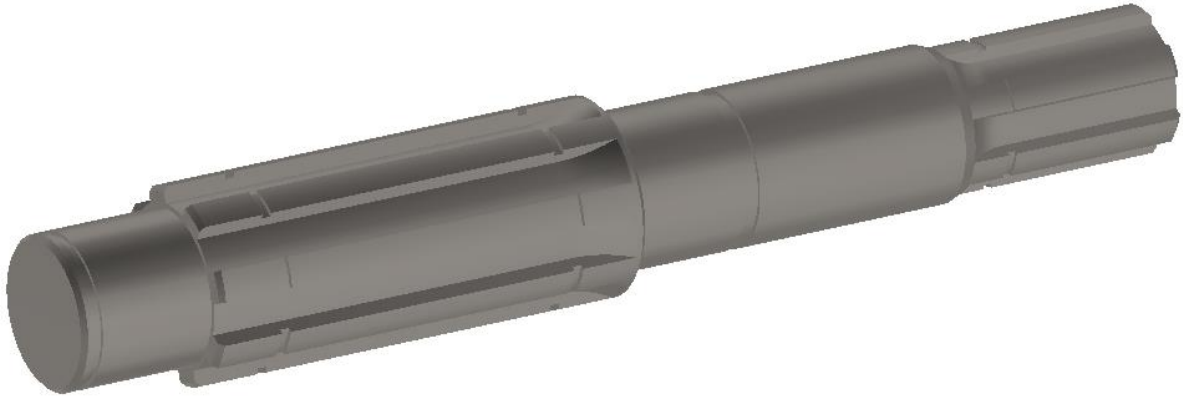
$$\tau_k = \frac{M_{k2}}{W_k} = 1,19 \text{ MPa} \quad (296)$$

$$k_\tau = \frac{Re}{\tau_k} = 453,77 \quad (297)$$

$$k = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{k_o^2} + \frac{1}{k_t^2}}} = 26,52 \quad (298)$$

6.9 Hřídel 4 (šnekové kolo)

Na obrázku níže je možno vidět hřídel 4.



Obrázek 6.14 Hřídel 4

6.9.1 Dopomala

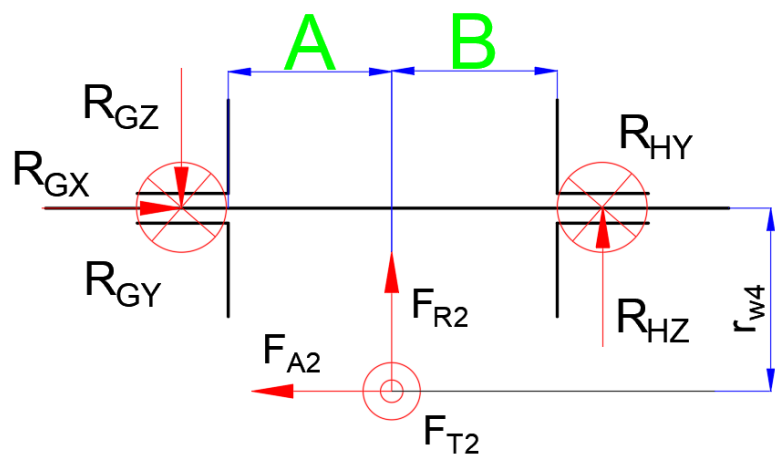
$$a = 80 \text{ mm}$$

$$b = 80 \text{ mm}$$

$$F_{r6.1} = 1565,34 \text{ N}$$

$$F_{a6.1} = 1244,03 \text{ N}$$

$$r_{w6} = 128,02 \text{ mm}$$



Obrázek 6.15 Hřídel 4 - silové zobrazení (dopomala)

Reakce

$$R_{Gx} = F_{a6.1} = 1244,03 \text{ N} \quad (299)$$

$$R_{Hy} = F_{t6.1} - R_{Gy} = 2221,79 \text{ N} \quad (300)$$

$$R_{Hz} = -F_{r6.1} - R_{Gz} = 212,68 \text{ N} \quad (301)$$

$$R_{Gz} = \frac{(F_{a6.1} * r_{w6} - F_{r6.1} * b)}{a + b} = 1778,01 \text{ N} \quad (302)$$

$$R_{Gy} = \frac{F_{t5.2} * B}{a + b} = 2221,94 \text{ N} \quad (303)$$

$$R_G = \sqrt{R_{Gx}^2 + R_{Gy}^2 + R_{Gz}^2} = 3105,68 \text{ N} \quad (304)$$

$$R_H = \sqrt{R_{Hx}^2 + R_{Hy}^2} = 2231,94 \text{ N} \quad (305)$$

Ohybové momenty

$$M_{O_4} = F_{a6.1} * r_{w6} = 159,26 \text{ Nm} \quad (306)$$

$$M_{O_4 xz} = R_{Gz} * a = 142,24 \text{ Nm} \quad (307)$$

$$M_{O_4 xy} = R_{Gy} * a = 177,74 \text{ Nm} \quad (308)$$

$$M_{O_4} = \sqrt{M_{O_4 xz}^2 + M_{O_4 xy}^2} = 227,65 \text{ Nm} \quad (309)$$

Průměr hřídele

Materiál: 12 061

Re = 440MPa

$$\sigma_C = 0,7 * Re = 0,7 * 440 = 308 \text{ MPa} \quad (310)$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 * M_{k3.1}}{\pi * \sigma_C}} = 26,6 \text{ mm} \rightarrow d = 32 \text{ mm} \quad (311)$$

Bezpečnost hřídele

$$W_o = \frac{\pi * d^3}{32} = 3,21 * 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (312)$$

$$\sigma_o = \frac{M_{oMAX}}{W_o} = 70,76 \text{ MPa} \quad (313)$$

$$k_o = \frac{\sigma_C}{\sigma_o} = 4,35 \quad (314)$$

$$W_k = \frac{\pi * d^3}{16} = 6,43 * 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (315)$$

$$\tau_k = \frac{M_{k2}}{W_k} = 88,43 \text{ MPa} \quad (316)$$

$$k_\tau = \frac{Re}{\tau_k} = 4,98 \quad (317)$$

$$k = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{k_o^2} + \frac{1}{k_\tau^2}}} = 3,28 \quad (318)$$

6.9.2 Dorychla

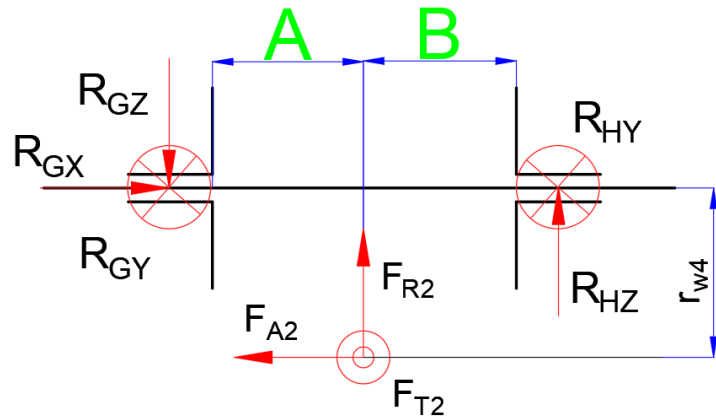
$$a = 80 \text{ mm}$$

$$b = 80 \text{ mm}$$

$$F_{r6.2} = 782,67 \text{ N}$$

$$F_{a6.2} = 622,01 \text{ N}$$

$$r_{w6} = 128,02 \text{ mm}$$



Obrázek 6.16 Hřídel 4 - silové zobrazení (dorychla)

Reakce

$$R_{Gx} = F_{a6.2} = 622,01 \text{ N} \quad (319)$$

$$R_{Hy} = F_{t6.1} - R_{Gy} = 1110,89 \text{ N} \quad (320)$$

$$R_{Hz} = -F_{r6.1} - R_{Gz} = 106,34 \text{ N} \quad (321)$$

$$R_{Gz} = \frac{(F_{a6.2} * r_{w6} - F_{r6.2} * b)}{a + b} = 889,01 \text{ N} \quad (322)$$

$$R_{Gy} = \frac{F_{t6.2} * B}{a + b} = 1110,89 \text{ N} \quad (323)$$

$$R_G = \sqrt{R_{Gx}^2 + R_{Gy}^2 + R_{Gz}^2} = 1552,84 \text{ N} \quad (324)$$

$$R_H = \sqrt{R_{Hz}^2 + R_{Hy}^2} = 1115,97 \text{ N} \quad (325)$$

Ohybové momenty

$$M_{O4} = F_{a6.2} * r_{w6} = 153,26 \text{ Nm} \quad (326)$$

$$M_{O4xz} = R_{Gz} * a = 71,12 \text{ Nm} \quad (327)$$

$$M_{O4xy} = R_{Gy} * a = 88,87 \text{ Nm} \quad (328)$$

$$M_{O4} = \sqrt{M_{O4xz}^2 + M_{O4xy}^2} = 113,83 \text{ Nm} \quad (329)$$

Průměr hřídele

Materiál: 12 061

Re = 440MPa

$$\sigma_c = 0,7 * Re = 0,7 * 440 = 308 \text{ MPa} \quad (330)$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 * M_{k3.1}}{\pi * \sigma_c}} = 21,11 \text{ mm} \rightarrow d = 32 \text{ mm} \quad (331)$$

Bezpečnost hřídele

$$W_o = \frac{\pi * d^3}{32} = 3,21 * 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (332)$$

$$\sigma_o = \frac{M_{oMAX}}{W_o} = 35,38 \text{ MPa} \quad (333)$$

$$k_o = \frac{\sigma_c}{\sigma_o} = 8,7 \quad (334)$$

$$W_k = \frac{\pi * d^3}{16} = 6,43 * 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (335)$$

$$\tau_k = \frac{M_{k2}}{W_k} = 44,21 \text{ MPa} \quad (336)$$

$$k_\tau = \frac{R_e}{\tau_k} = 9,95 \quad (337)$$

$$k = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{k_o^2} + \frac{1}{k_\tau^2}}} = 6,55 \quad (338)$$

6.10 Ložisko A (hřídel 1)

označení ložiska: 6302

d = 15 mm

D = 42 mm

B = 13 mm

C = 11400 N

Co = 5590 N

6.10.1 Dopomala

$$F_r = 767 \text{ N}$$

$$F_a = 256,28 \text{ N}$$

$$\frac{F_a}{F_r} = 0,33 \quad (339)$$

$$\frac{F_a}{C_{or}} = 0,05 \quad (340)$$

$$e = 0,27$$

$$X = 0,56$$

$$Y = 1,4$$

$$P = X * F_r + Y * F_a = 788,31 \text{ N} \quad (341)$$

$$m = 3$$

$$n = 1440 \text{ ot/min}$$

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m * \frac{10^6}{60 * n} = 39813,27 \text{ hod} \quad (342)$$

6.10.2 Dorychla

$$F_r = 163,79 \text{ N} \quad (343)$$

$$F_a = 96,01 \text{ N} \quad (344)$$

$$\frac{F_a}{F_r} = 0,67 \quad (345)$$

$$\frac{F_a}{C_{or}} = 0,02 \quad (346)$$

$$e = 0,24 \quad (347)$$

$$X = 0,56 \quad (348)$$

$$Y = 1,8 \quad (349)$$

$$P = X * F_r + Y * F_a = 253,34 \text{ N} \quad (350)$$

$$m = 3 \quad (351)$$

$$n = 1440 \text{ ot/min} \quad (352)$$

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m * \frac{10^6}{60 * n} = 1199536,65 \text{ hod} \quad (353)$$

6.11 Ložisko B (hřídel 1)

označení ložiska: 6302

d = 15 mm

D = 42 mm

B = 13 mm

C = 11400 N

C_o = 5590 N

6.11.1 Dopomala

$$F_r = 161,27 \text{ N} \quad (354)$$

$$P = F_r = 161,27 \text{ N} \quad (355)$$

$$m = 3$$

$$n = 1440 \text{ ot/min}$$

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m * \frac{10^6}{60 * n} = 4650412,01 \text{ hod} \quad (356)$$

6.11.2 Dorychla

$$F_r = 462,53 \text{ N} \quad (357)$$

$$P = F_r = 462,53 \text{ N} \quad (358)$$

$$m = 3 \quad (359)$$

$$n = 1440 \text{ ot/min} \quad (360)$$

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m * \frac{10^6}{60 * n} = 197104,32 \text{ hod} \quad (361)$$

6.12 Ložisko C (hřídel 2)

označení ložiska: 6204

d = 20 mm

D = 47 mm

B = 19 mm

C = 12840 N

Co = 6650 N

6.12.1 Dopomala

$$F_r = 265,37$$

$$m = 3$$

$$n = 960$$

$$P = F_r = 265,37 \text{ N} \quad (362)$$

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m * \frac{10^6}{60 * n} = 196661,94 \text{ hod} \quad (363)$$

6.12.2 Dorychla

$$F_r = 94,12 \text{ N}$$

$$m = 3$$

$$n = 1920 \text{ ot/min}$$

$$P = F_r = 94,12 \text{ N} \tag{364}$$

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m * \frac{10^6}{60 * n} = 2204030,06 \text{ hod} \tag{365}$$

6.13 Ložisko D (hřídel 2)

označení ložiska: 6204

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$D = 47 \text{ mm}$$

$$B = 19 \text{ mm}$$

$$C = 12840 \text{ N}$$

$$C_o = 6650 \text{ N}$$

6.13.1 Dopomala

$$F_r = 589,24 \text{ N}$$

$$F_a = 256,28 \text{ N}$$

$$\frac{F_a}{F_r} = 0,43 \tag{366}$$

$$\frac{F_a}{C_{or}} = 0,04 \tag{367}$$

$$e = 0,27$$

$$X = 0,56$$

$$Y = 1,6$$

$$P = X * F_r + Y * F_a = 740,03 \text{ N} \tag{368}$$

$$m = 3$$

$$n = 960 \text{ ot/min}$$

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m * \frac{10^6}{60 * n} = 60682,96 \text{ hod} \tag{369}$$

6.13.2 Dorychla

$$F_r = 507,01 \text{ N}$$

$$F_a = 96,01 \text{ N}$$

$$\frac{F_a}{F_r} = 0,19 \quad (370)$$

$$\frac{F_a}{C_{or}} = 0,01 \quad (371)$$

$$e = 0,25$$

$$P = F_r = 507,01 \text{ N} \quad (372)$$

$$m = 3$$

$$n = 1920 \text{ ot/min}$$

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m * \frac{10^6}{60 * n} = 140995,38 \text{ hod} \quad (373)$$

6.14 Ložisko F (hřídel 3)

označení ložiska: 6308

$$d = 40 \text{ mm}$$

$$D = 90 \text{ mm}$$

$$B = 23 \text{ mm}$$

$$C = 40600 \text{ N}$$

$$C_o = 23700 \text{ N}$$

6.14.1 Dopomala

$$F_r = 2403,75 \text{ N} \quad (374)$$

$$m = 3$$

$$n = 960 \text{ ot/min}$$

$$P = 630,91 \text{ N}$$

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m * \frac{10^6}{60 * n} = 462653,09 \text{ hod} \rightarrow \text{vyhovuje} \quad (375)$$

6.14.2 Dorychla

$$F_r = 315,45 \text{ N} \quad (376)$$

$$m = 3$$

$$n = 1920 \text{ ot/min}$$

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m * \frac{10^6}{60 * n} = 1850632,37 \text{ hod} \quad (377)$$

6.15 Ložisko E (hřídel 3)

označení ložiska: 3308 E

$$d = 40 \text{ mm}$$

$$D = 90 \text{ mm}$$

$$B = 36,5 \text{ mm}$$

$$C = 66000 \text{ N}$$

$$C_0 = 64000 \text{ N}$$

6.15.1 Dopomala

$$F_r = 1586,78 \text{ N}$$

$$F_a = 4443,57 \text{ N}$$

$$X = 0,67$$

$$Y = 1,2$$

$$m = 3,33$$

$$n = 960 \text{ ot/min}$$

$$P = X * F_r + Y * F_a = 6316,09 \text{ N} \quad (378)$$

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m * \frac{10^6}{60 * n} = 43307,45 \text{ hod} \quad (379)$$

6.15.2 Dorychla

$$F_r = 793,39 \text{ N}$$

$$F_a = 2221,79 \text{ N}$$

$$X = 0,67$$

$$Y = 1,47$$

$$m = 3,33$$

$$n = 1440 \text{ ot/min}$$

$$P = X * F_r + Y * F_a = 3710,32 \text{ N} \quad (380)$$

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m * \frac{10^6}{60 * n} = 127542,32 \text{ hod} \quad (381)$$

6.16 Ložisko G (hřídel 4)

označení ložiska: 6304

$d = 30 \text{ mm}$

$D = 90 \text{ mm}$

$B = 23 \text{ mm}$

$C = 43000 \text{ N}$

$C_o = 23700 \text{ N}$

6.16.1 Dopomala

$$F_r = 2845,64 \text{ N}$$

$$F_a = 1244,03 \text{ N}$$

$$\frac{F_a}{F_r} = 0,44 \quad (382)$$

$$\frac{F_a}{C_{or}} = 0,05 \quad (383)$$

$$e = 0,27$$

$$X = 0,56$$

$$Y = 1,8$$

$$m = 3$$

$$n = 60 \text{ ot/min}$$

$$P = X * F_r + Y * F_a = 4081,62 \text{ N} \quad (384)$$

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m * \frac{10^6}{60 * n} = 324792,79 \text{ hod} \quad (385)$$

6.16.2 Dorychla

$$F_r = 1422,82 \text{ N}$$

$$F_a = 622,01 \text{ N}$$

$$\frac{F_a}{F_r} = 0,44 \quad (386)$$

$$\frac{F_a}{C_{or}} = 0,03 \quad (387)$$

$$e = 0,24$$

$$X = 0,56$$

$$Y = 2$$

$$m = 3$$

$$n = 120 \text{ ot/min}$$

$$P = X * F_r + Y * F_a = 2040,81N \quad (388)$$

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m * \frac{10^6}{60 * n} = 1299171,17 \text{ hod} \quad (389)$$

6.17 Ložisko H (hřídel 4)

označení ložiska: 6304

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$D = 90 \text{ mm}$$

$$B = 23 \text{ mm}$$

$$C = 43000 \text{ N}$$

$$C_o = 23700 \text{ N}$$

6.17.1 Dopomala

$$F_r = 2231,94 \text{ N}$$

$$m = 3$$

$$n = 60 \text{ ot/min}$$

$$P = F_r = 2231,94 \text{ N}$$

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m * \frac{10^6}{60 * n} = 1986341,48 \text{ hod} \quad (390)$$

6.17.2 Dorychla

$$F_r = 1115,97 \text{ N} \quad (391)$$

$$m = 3$$

$$n = 120 \text{ ot/min}$$

$$P = F_r = 1115,97N$$

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m * \frac{10^6}{60 * n} = 7945365,91 \text{ hod} \quad (392)$$

6.18 Spojení pero – drážka

6.18.1 Vstupní spojka

$$M_k = 26,54 \text{ Nm}$$

$$d = 15 \text{ mm}$$

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

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

$$p_D = 100 \text{ MPa} \quad (393)$$

$$l \geq \frac{2 * M_k}{(p_D * 0,45 * h * d)} = 19,66 \text{ mm} \quad (394)$$

Volím

$$l = 22 \text{ mm}$$

6.18.2 Navržení šroubů

$$R = 50 \text{ mm}$$

$$n = 4$$

$$T = \frac{M_k}{i * R} = 132,7 \text{ N} \quad (395)$$

$$d = 6 \text{ mm}$$

$$R_e = 640 \text{ MPa}$$

$$\tau_{dov} = 0,6 * R_e = 390 \text{ MPa} \quad (396)$$

$$\tau_s = \frac{T}{S} = 4,69 \text{ MPa} \quad (397)$$

6.18.3 Pero pod kolem 2 (dopomala)

$$M_k = 39,81 \text{ Nm}$$

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$h = 6 \text{ mm}$$

$$b = 6 \text{ mm}$$

$$p_D = 100 \text{ MPa}$$

$$l \geq \frac{2 * M_k}{(p_D * 0,45 * h * d)} = 14,74 \text{ mm} \quad (398)$$

Volím

$$l = 20 \text{ mm}$$

6.18.4 Pero pod kolem 4 (dorychla)

$$M_k = 19,9 \text{ Nm}$$

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$h = 6 \text{ mm}$$

$$b = 6 \text{ mm}$$

$$p_D = 100 \text{ MPa}$$

$$l \geq \frac{2 * M_k}{(p_D * 0,45 * h * d)} = 7,37 \text{ mm} \quad (399)$$

Volím

$$l = 10 \text{ mm}$$

6.18.5 Vstupní spojka

$$M_k = 39,81 \text{ Nm}$$

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$h = 6 \text{ mm}$$

$$b = 6 \text{ mm}$$

$$p_D = 100 \text{ MPa}$$

$$l \geq \frac{2 * M_k}{(p_D * 0,45 * h * d)} = 14,74 \text{ mm} \quad (400)$$

Volím

$$l = 20 \text{ mm}$$

6.18.6 Navržení šroubů

$$R = 50 \text{ mm}$$

$$n = 4$$

$$T = \frac{M_k}{i * R} = 199,04 \text{ N} \quad (401)$$

$$d = 6 \text{ mm}$$

$$R_e = 640 \text{ MPa}$$

$$\tau_{dov} = 0,6 * R_e = 390 \text{ MPa} \quad (402)$$

$$\tau_s = \frac{T}{S} = 7,04 \text{ MPa} \quad (403)$$

6.19 Drážkování

6.19.1 Drážkování pod kolem 1 - synchron - 3

$$M_k = 26,54 \text{ Nm}$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$D = 20 \text{ mm}$$

$$Z = 6$$

$$f' = 6,3 \text{ mm}^2$$

$$p_D = 80 \text{ MPa}$$

$$l \geq \frac{4 * M_k}{(d + D) * p_D * f'} = 5,85 \text{ mm} \quad (404)$$

Volím

$$l = 30 \text{ mm}$$

6.20 Drážkování pod kolem 5

$$M_k = 544,53 \text{ Nm}$$

$$d = 32 \text{ mm}$$

$$D = 38 \text{ mm}$$

$$Z = 8$$

$$f' = 13,2 \text{ mm}^2$$

$$p_D = 80 \text{ MPa}$$

$$l \geq \frac{4 * M_k}{(d + D) * p_D * f'} = 19,66 \text{ mm} \quad (405)$$

Volím

$$l = 60 \text{ mm}$$

6.21 Výstupní drážkovaná spojka se střížnými kolíky

$$M_k = 544,53 \text{ Nm}$$

$$d = 32 \text{ mm}$$

$$D = 38 \text{ mm}$$

$$Z = 8$$

$$f' = 13,2 \text{ mm}^2$$

$$p_D = 80 \text{ MPa}$$

$$l \geq \frac{4 * M_k}{(d + D) * p_D * f'} = 19,66 \text{ mm} \quad (406)$$

Volím

$$l = 25 \text{ mm}$$

6.21.1 Návrh kolíků

$$R = 31 \text{ mm}$$

$$n = 4$$

$$T = \frac{M_k}{i * R} = 4838,71 \text{ N} \quad (407)$$

$$R_e = 640 \text{ MPa}$$

$$\tau_{dov} = 0,6 * R_e = 390 \text{ MPa} \quad (408)$$

$$\tau_s = \frac{T}{S} \rightarrow d = 4 \text{ mm} \quad (409)$$

6.22 Olej

Jako náplň obou převodovek je zvolen Shell HD320, což je plně syntetický olej, určený pro systémy pracující v náročných podmínkách a snášející nadměrné zatížení a také je schopen pracovat v širokém rozsahu pracovních teplot. Zároveň je doporučený pro použití ve šnekových převodovkách.

7 Ekonomické zhodnocení

Kalkulace ceny převodového ústrojí (převodovek) byla stanovena po průzkumu nabídek trhu. Nejvyšší částka je za skříň převodovky, kde velmi záleží, jestli by to byla kusová či sériová výroba. Při sériové výrobě by se cena za skříň pohybovala násobně níž než v případě kusové výroby.

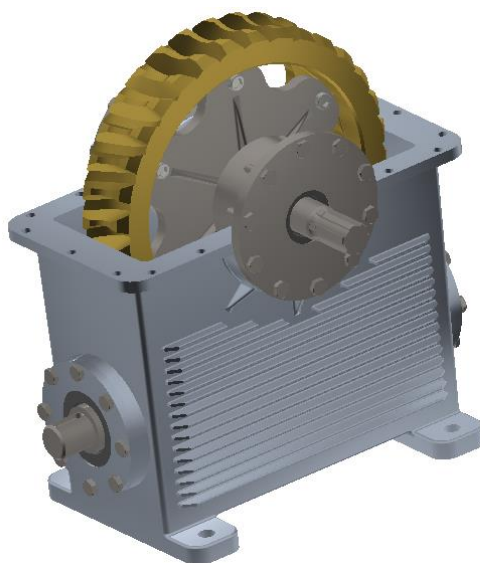
Tabulka 7.1 Ceny jednotlivých dílů

Název	Počet	Cena v Kč
Hřídel 1	1	6500
Hřídel 2	1	3000
Hřídel 4	1	5000
Šnek	1	6000
Šnekový věnec	1	7500
Náboj na šnekový věnec	1	1500
Ozubené kolo 1	1	3500
Ozubené kolo 2	1	3800
Ozubené kolo 3	1	3000
Ozubené kolo 4	1	3000
Spojky	3	3000
Synchron	1	2000
Ložiska	8	2500
Šroub M6	96	96
Matice M6	28	30
Orientační cena		50430

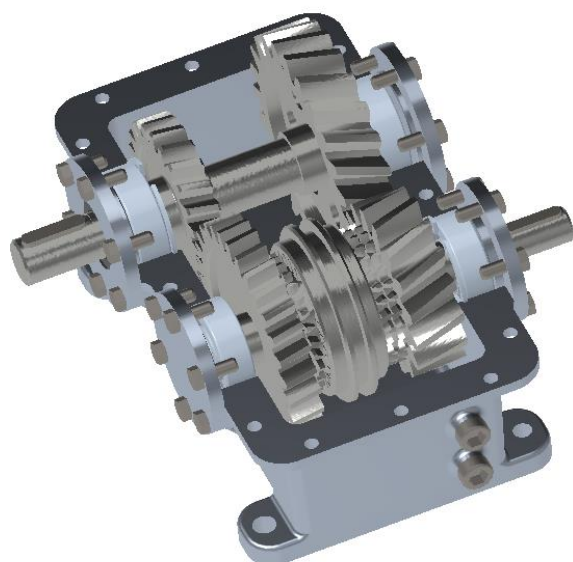
Výsledná orientační cena je bez skříň převodovek.

8 Finální konstrukce převodového ústrojí

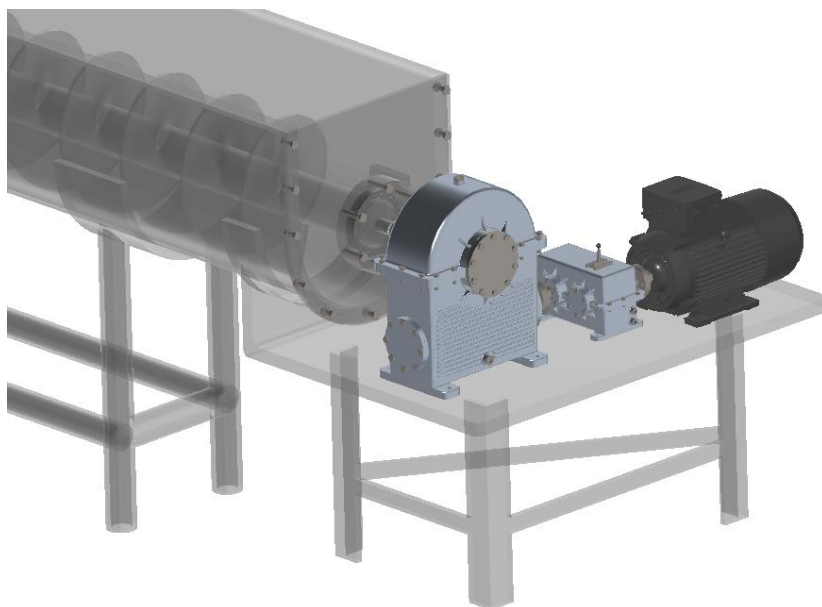
Podoba finální konstrukce převodového ústrojí je znázorněna za pomoci obrázků níže. Následně je také ukázáno, jak by toto pohonné ústrojí mohlo být použito v praxi.



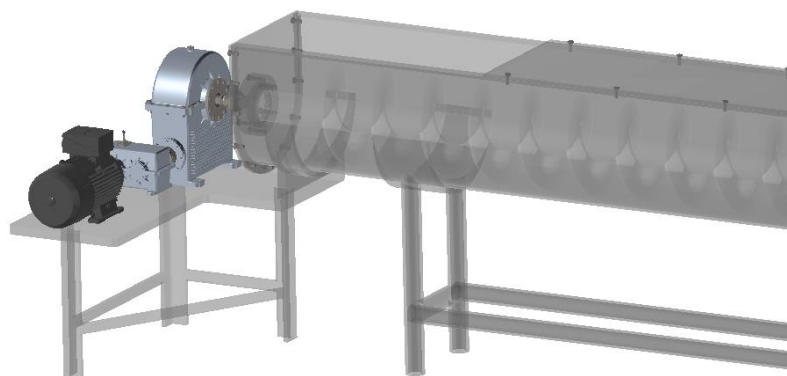
Obrázek 8.1 Šneková převodovka



Obrázek 8.4 Čelní převodovka



Obrázek 8.2 Koncept uložení 1



Obrázek 8.3 Koncept uložení 2

9 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo provést výpočet a návrh převodového ústrojí pro vodorovný šnekový dopravník černého uhlí. Vstupní hodnoty byly zadané (vzdálenost, dopravní výkon), vše ostatní bylo navrženo a prověřeno výpočty dle literatury a platných norem.

V první části práce je stručně shrnuta historie dopravníků, následuje rozdělení dopravníků podle normy ČSN 260001. V další kapitole je představen nejpoužívanější typ dopravníku, tj. pásový dopravník. Je popsáno jeho schéma a některé jeho nejdůležitější části, např. dopravní pás, na který jsou kladeny velké nároky, co se trvanlivosti týče. Poté je přiblížen další druh dopravníku, a to je šnekový dopravník. Opět jsou popsány jeho nejdůležitější části a také schéma.

V druhé části je výpočtem a s přihlédnutím na přepravovaný materiál společně se zadanými parametry vybrán ideální elektromotor motor pro šnekový dopravník. Ačkoliv jsou elektromotory nejvýhodnějším řešením (a nejvíce používaným) pohonem pro dopravníky, je nutné jejich vysoké otáčky snížit. Je tedy potřeba velkého zpřevodování. Zároveň jsem také vypočítal hlavní rozměry šneku, jako je vnější průměr a rozteč šnekovice. Následně jsem podle výrobce zvolil nejbližze vyráběný produkt.

Navržený integrovaný převod se skládá ze dvou převodovek, čelní a šnekové. Výsledná sestava je dvourychlostní, kde na výstupu ze šnekové převodovky jsou získávány doporučené otáčky pro přepravu daného materiálu. Čelní převodovka obsahuje dvě soukolí se šikmými zuby. V této převodovce nedochází k velkému zpřevodování, pouze se vhodně upraví otáčky. Výstup z této převodovky je přes spojku spojen se vstupem do šnekové převodovky, kde dochází k největšímu zpřevodování. Šneková převodovka je pro tento úkon vhodná, jelikož disponuje velkou únosností. Výstupní hřídel ze šnekové převodovky je přes spojku spojen s hřídelí šneku dopravníku, na které jsou již požadované otáčky. V práci je obsažena také přibližná cenová náročnost tohoto řešení. Orientační cena je ovšem bez obou skříní převodovek. V případě, že by byla zavedena sériová výroba, byla by cena násobně menší než v případě kusové výroby.

Na závěr práce jsou obě převodovky zobrazeny a také předveden možný způsob, jak by takové převodové ústrojí mohlo být použito v praxi. Jde pouze o koncept, kde např. umístění nohou není podloženo výpočty.

Literatura

- [1] POLÁK, J. a J. BICHLER. *Dopravní a manipulační zařízení II*. 1. Ostrava: Turpress, 2003. ISBN 80-248-0493-X.
- [2] GAJDŮŠEK, Doc. a Ing. ŠKOPÁN. *Teorie dopravních a manipulačních zařízení*. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně v redakci VN MON, 1988. ISBN 111.
- [3] DRAŽAN, Prof. a Ing. JEŘÁBEK. *Manipulace s materiálem*. 1. Brno: SNTL, 1979. ISBN 222.
- [4] *Pásový dopravník pro recyklované kamenivo*. Brno, 2011. Bakalářská práce. VUT Brno.
- [5] *Pojízdný pásový dopravník*. Brno, 2016. Bakalářská práce. VUT Brno.
- [6] *Spirální šnekový dopravník*. Brno, 2012. Bakalářská práce. VUT Brno.
- [7] *Návrh šnekového dopravníku*. Praha, 2018. Diplomová práce. ČVUT Praha.
- [8] Výroba pásových dopravníků. In: *Duba dopravní pásy* [online]. Jihlava: -, - [cit. 2021-06-06]. Dostupné z: <https://www.duba-dp.cz/vyroba-pasovych-dopravniku-a-shazovacich-voziku>
- [9] Náhradní pás - dopravník PROFI. *JV metal s.r.o.* [online]. Stará Paka: -, - [cit. 2021-06-06]. Dostupné z: <https://www.jvmetalshop.cz/produkt/nahradni-pas-dopravnik-profi-2/>
- [10] Spojky dopravních pásov. In: *Tukon* [online]. Bratislava: -, - [cit. 2021-06-06]. Dostupné z: <https://www.tukon.sk/RS62SJ40-1000NCS-400cm-d116.htm>
- [11] Dopravní pásy. In: *Techbelt* [online]. Zlín: -, - [cit. 2021-06-06]. Dostupné z: <https://www.dopravnipasy.com/dopravni-pasy>
- [12] Bubny (válce) pásových dopravníků. In: *VVV MOST spol. s r.o.* [online]. Most: -, - [cit. 2021-06-06]. Dostupné z: <https://vvvmost.cz/bubny-valce-pasovych-dopravniku/>
- [13] Product 1AV1106B. *Siemens* [online]. -: -, - [cit. 2021-06-06]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/?mlfb=1LE1002-1AB6-....>
- [14] Horizontal Screw Conveyors. In: *Durability defined* [online]. Texas: -, 1972 [cit. 2021-06-06]. Dostupné z: <https://www.kwsmfg.com/engineering-guides/screw-conveyor/types-of-screw-conveyors/>

- [15] Belt Conveyor. In: *Raymond Handling* [online]. Auburn: -, - [cit. 2021-06-06]. Dostupné z: <https://raymondhandling.com/dictionary/belt-conveyor/>
- [16] Belt conveyor danger zones. In: *World coal* [online]. -: -, 2020 [cit. 2021-06-06]. Dostupné z: <https://www.worldcoal.com/handling/01052020/belt-conveyor-danger-zones/>
- [17] HOSCH Regulační stolice (řídící stanice) typ RG2. In: *I-TES: Internetový Technicko-Ekonomický Server* [online]. -: -, - [cit. 2021-06-06]. Dostupné z: <http://www.i-tes.com/profile/regulacni-stolice-dopravniku-4993>
- [18] Jednoradové guľkové ložiská. *Zvlbearing* [online]. Bratislava: -, - [cit. 2021-6-6]. Dostupné z: <https://www.zvlbearing-catalog.sk/katalog/tab-1/>

Seznam obrázků

Obrázek 1.1 Šnekový dopravník [14]	7
Obrázek 3.1 Pásový dopravník pro kusové materiály [15]	9
Obrázek 3.2 Pásový dopravník pro sypké materiály [16].....	9
Obrázek 3.3 Konstrukční řešení pásového dopravníku [4].....	10
Obrázek 3.4 Skladba dopravního pásu [2].....	10
Obrázek 3.5 Dopravní pás s ocelovými lanky [2].....	11
Obrázek 3.6 Typ dopravního pásu 1 [8]	11
Obrázek 3.7 Typ dopravního pásu 2 [9]	11
Obrázek 3.8 Typ mechanické spojky 1 [10]	11
Obrázek 3.9 Typ mechanické spojky 2 [11]	11
Obrázek 3.11 Prstový lepený spoj [1].....	12
Obrázek 3.10 Přeplátovaný lepený spoj [1].....	12
Obrázek 3.12 Hnaný dopravní buben [12]	13
Obrázek 3.13 Hnací dopravní buben [12].....	13
Obrázek 3.14 Šikmá válečková stolice [12].....	13
Obrázek 3.15 Vodorovná válečková stolice [17].....	13
Obrázek 4.1 Konstrukční řešení šnekového dopravníku	15
Obrázek 4.2 Plná šnekovice [3]	16
Obrázek 4.3 Obvodová šnekovice [3]	16
Obrázek 4.4 Lopatková šnekovice [2]	17
Obrázek 4.5 Kuželová šnekovice [2]	17
Obrázek 4.7 Ložisko mezi čely žlabu [6]	17
Obrázek 4.6 Spojování šnekovic čepy [2].....	17
Obrázek 4.9 Žlab s víkem [7]	18
Obrázek 4.8 Excentrické uložení šneku [2].....	18
Obrázek 4.10 Koeficient plnění [2].....	18
Obrázek 5.1 Elektromotor SIEMENS 1AV1106B [13].....	20
Obrázek 6.1 Kinematické schéma integrovaného převodu.....	21
Obrázek 6.2 Soukolí se šikmými zuby 1-2	23
Obrázek 6.3 Soukolí se šikmými zuby 3-4	27
Obrázek 6.4 Šnekové soukolí	31
Obrázek 6.5 Hřídél 1	35
Obrázek 6.6 Hřídél 1 - silové zobrazení (dopomala).....	35
Obrázek 6.7 Hřídél 1 - silové zobrazení (dorychla).....	37
Obrázek 6.8 Hřídél 2	39

Obrázek 6.9 Hřídel 2 - silové zobrazení (dopomala).....	39
Obrázek 6.10 Hřídel 2 - silové zobrazení (dorychla)	41
Obrázek 6.11 Šnek.....	42
Obrázek 6.12 Šnek - silové zobrazení (dopomala).....	43
Obrázek 6.13 Šnek - silové zobrazení (dorychla).....	44
Obrázek 6.14 Hřídel 4	46
Obrázek 6.15 Hřídel 4 - silové zobrazení (dopomala).....	46
Obrázek 6.16 Hřídel 4 - silové zobrazení (dorychla)	48
Obrázek 8.1 Šneková převodovka.....	61
Obrázek 8.2 Koncept uložení 1.....	62
Obrázek 8.3 Koncept uložení 2.....	62
Obrázek 8.4 Čelní převodovka.....	62

Seznam tabulek

Tabulka 3.1 Trvanlivost dopravního pásu [2].....	12
Tabulka 4.1 Doporučené parametry pro přepravované materiály [2]	19
Tabulka 5.1 Parametry SIEMENS 1AV1106B [13]	20
Tabulka 7.1 Ceny jednotlivých dílů.....	61

Seznam použitých zkratek a symbolů

Q	[kg/h]	dopravní výkon
ρ_v	[kg/m ³]	hustota přepravovaného materiálu
Q _v	[m ³ /h]	objemový dopravní výkon
s	[m]	stoupání šnekovice
ψ	[-]	součinitel plnění
n	[s ⁻¹]	otáčky
c _H	[-]	součinitel ovlivňující sklon dopravníku
D	[m]	průměr šnekovice
P	[W]	výkon motoru
g	[m*s ⁻²]	gravitační konstanta
i _{c1}	[-]	celkový převodový poměr při 1. stupni
i _{c2}	[-]	celkový převodový poměr při 2. stupni
i _{12,34,56}	[-]	převodový poměr mezi danými koly
n _{ax}	[s ⁻¹]	vstupní otáčky
n _{2,3,4}	[s ⁻¹]	otáčky na dané hřídeli
Mk _{1,2,3,4}	[Nm]	kroučící moment na dané hřídeli
R _m	[MPa]	mez pevnost v tahu
R _e	[MPa]	mez kluzu v tahu
σ_{Hlim}	[MPa]	mez únavy v dotyku odpovídající základovému počtu cyklů
σ_{Flim}	[MPa]	mez únavy v ohybu odpovídající základovému počtu cyklů
Z _{1,2,3,4,5,6}	[-]	počet zubů daného kola
α, β	[°]	úhel sklonu zubu
α_{vt}	[°]	provozní záběrový úhel
γ	[°]	stoupání šroubovice
$\sigma_{Hlim\ stř}$	[MPa]	střední mez únavy dotyku
σ_{HP}	[MPa]	přípustné napětí v dotyku (přípustný Hertzův tlak)
d	[mm]	roztečná kružnice
d _a	[mm]	hlavová kružnice
d _f	[mm]	patní kružnice
d _b	[mm]	základní kružnice
d _w	[mm]	valivá kružnice
r _v	[mm]	poloměr valení

m_t, m_n	[mm]	tečný, normální modul
h_a	[mm]	výška hlavy zubu
h_f	[mm]	výška paty zubu
h	[mm]	výška zubu
p_t	[mm]	rozteč zubů v čelní rovině
p_{tb}	[mm]	základní rozteč v čelní rovině
s_n, e_n	[mm]	tloušťka zubu, šířka mezery zubu v normálové rovině
s_x, e_x	[mm]	tloušťka zubu, šířka mezery zubu v osové rovině
b_5	[mm]	délka šneku
a	[mm]	osová vzdálenost
a_v	[mm]	předepsaná osová vzdálenost
x	[mm]	korekce kola
ε	[-]	součinitel trvání záběru
ε_α	[-]	součinitel trvání záběru ε_α
ε_β	[-]	součinitel trvání záběru ε_β
b	[mm]	šířka kola
q	[-]	součinitel průměru šneku
r_n	[mm]	roztečná kružnice náhradního kola
z_n	[mm]	počet zubů náhradního kola
F_t	[N]	tečná složka zatěžovací síly
F_N	[N]	normálová síla
F_n	[N]	průmět zatěžovací síly do tečné roviny
F_a	[N]	průmět zatěžovací síly v axiálním směru
F_r	[N]	průmět zatěžovací síly v radiálním směru
σ_c	[MPa]	mez únavy v ohybu
σ_o	[MPa]	napětí v ohybu
σ_{HO}	[MPa]	napětí v dotyku při ideálním zatížení přesných zubů
σ_H	[MPa]	napětí v dotyku (Hertzův tlak) ve valivém bodě
σ_{HPmax}	[MPa]	přípustné napětí v dotyku při největším zatížení F_{t1}
σ_{FP}	[MPa]	přípustné napětí v dotyku
σ_F	[MPa]	ohybové napětí v nebezpečném průřezu paty zubu
σ_{FPmax}	[MPa]	přípustné napětí v ohybu při největším zatížení
σ_{Fmax}	[MPa]	největší místní ohybové napětí v patě zubu

ω	[rad*s ⁻¹]	úhlová rychlost
v	[m*s ⁻¹]	obvodová rychlost
v_t	[m*s ⁻¹]	tečná rychlost na roztečném válci
v_k	[m*s ⁻¹]	kluzná rychlost v ozubení
R	[N]	výsledná zatěžovací síla
Z_N, Y_n	[-]	součinitel tvaru zubu na dotyk, ohyb
K_H, K_A	[-]	součinitel zatížení
S_H, S_F	[-]	součinitel bezpečnosti v tlaku, ohybu
Y_β	[-]	součinitel sklonu zubu
Z_E	[-]	součinitel mechanických vlastností materiálu
R_x, R_y, R_z	[N]	reakce
M_o	[Nm]	ohybový moment
W_o	[m ³]	modul průřezu v ohybu
W_k	[m ³]	modul průřezu v krutu
k_o	[-]	součinitel bezpečnosti v ohybu
k_τ	[-]	součinitel bezpečnosti v krutu
k	[-]	součinitel bezpečnosti
C	[N]	dynamická únosnost
C_o	[N]	statická únosnost
F_r	[N]	radiální zatížení ložiska
F_a	[N]	axiální zatížení ložiska
X, Y	[-]	koeficient radiální, axiálního zatížení
P	[N]	ekvivaletní zatížení ložiska
e	[-]	parametr (ložiska)
m	[-]	exponent rovnice trvanlivosti
L_{10}	[-]	trvanlivost ložiska
p_d	[MPa]	tlak na boky pera
l	[mm]	účinná délka pera
h	[mm]	výška pera
b	[mm]	šířka pera
R	[mm]	poloměr kružnice kolíků
T	[N]	zatěžující smyková síla

τ_{dov}	[MPa]	dovolené smykové napětí
τ_s	[MPa]	smykové napětí
f'	[mm ²]	účinná plocha na 1 mm délky

Seznam příloh

Výkresová dokumentace

- Výkres sestavy 1 (HALOUN-BP-0)
- Výkres sestavy 2 (HALOUN-BP-1)
- Výkres oz. kola 2 (HALOUN-BP-0-1-2-2)
- Výkres hřídele 2 (HALOUN-BP-0-1-1-1)
- Výkres hřídele 4 (HALOUN-BP-0-1-1-2)
- Výkres víčka (HALOUN-BP-0-1-3-1)
- Kusovníky (HALOUN-BP-0-1, 2, 3)

- 3D model (digitálně)