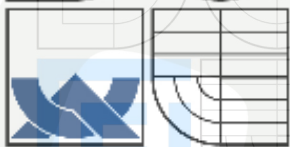




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



TECHNICKÉ
V BRNĚ



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ



FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

VODOROVNÝ ŠNEKOVÝ DOPRAVNÍK

HORIZONTAL WORM CONVEYOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

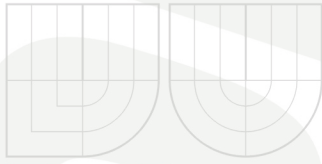
TOMÁŠ NADYMÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ MALÁŠEK, Ph.D.

BRNO 2008



VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Anotace

Obsahem této bakalářská práce je konstrukce vodorovného šnekového dopravníku pro vápenného hydrátu na dopravní vzdálenost 15 m. V práci je proveden funkční výpočet dopravníku, určení hlavních rozměrů a také návrh pohonu. Dále je proveden pevnostní výpočet hřídele šneku. V přílohách je veškerá požadovaná výkresová dokumentace se zobrazenými hlavními částmi a prvky šnekového dopravníku.

Annotation

The content of this bachelor's work is the construction of the horizontal worm conveyor for the transport of the calcareous hydrate, for the transport in the distance of 15 metres. There is a functional calculation of the conveyor in the work, assessment of the main dimension and also the design of the drive. There is also perform calculation of the solidity of the shaft of the conveyor. All desiderative documentation of the drawings is in the annexes, with the describe main parts and elements of the conveyor.



VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Bibliografická citace



FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

NADYMÁČEK, T. *Vodorovný šnekový dopravník*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 29 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Malášek, Ph.D.



VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Prohlášení

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce pana Ing. Jiřího Maláška, Ph.D. a s použitím uvedené literatury.

Poděkování

Děkuji Ing. Jiřímu Maláškovi, Ph.D. za odborné vedení a rady během mé práce.

Obsah

	Seznam použitých symbolů	8
1	Úvod	11
2	Konstrukce šnekových dopravníků	12
2.1	Šnek	12
2.2	Žlab	13
3	Určení hlavních parametrů šnekového dopravníku	14
3.1	Objemové dopravní množství	14
3.2	Volba otáček	14
3.3	Průměr a stoupání šnekovnice	14
4	Návrh hnacího ústrojí	15
4.1	Výkon motoru	15
4.2	Volba motoru a převodovky	15
5	Výpočet hmotnosti šnekového hřídele	16
5.1	Hmotnost hřídele	16
5.2	Hmotnost šnekovnice	16
5.2.1	Plocha vzniklá vertikálním řezem šnekovnice	16
5.2.2	Průměr náležící těžišti mezikruží	16
5.2.3	Délka dráhy těžiště jednoho segmentu	17
5.2.4	Objem jednoho segmentu	17
5.2.5	Potřebný počet segmentů	17
5.2.6	Objem celé šnekovnice	17
5.2.7	Hmotnost celé šnekovnice	17
5.3	Hmotnost šneku	17
5.4	Spojité zatížení	18
6	Výpočet reakcí	18
6.1	První část šneku	18
6.1.1	Radiální síla v koncovém ložisku, bod A	19
6.1.2	Radiální síla v podpěrném ložisku, bod B	19
6.1.3	Ohybový moment působící v bodě B	19
6.2	Prostřední část šneku	19
6.2.1	Radiální síla v podpěrných ložiskách, body C a D	20
6.2.2	Ohybový moment působící v bodě C	20
6.2.3	Ohybový moment působící v bodě D	20
6.3	Celkové reakce	20
6.3.1	Reakce pro koncová ložiska	20
6.3.2	Reakce pro podpěrná ložiska	20
6.4	Axiální síla působící na hřídel šneku	21
6.4.1	Účinný poloměr šnekovnice	21
6.4.2	Úhel stoupání šnekovnice	21
6.4.3	Axiální síla působící na hřídel šneku	21
7	Pevnostní výpočet	22
7.1	Ohybové namáhání	22
7.1.1	Modul průřezu v ohybu	22
7.1.2	Napětí v ohybu	22
7.2	Namáhání na krut	22
7.2.1	Modul průřezu v krutu	22
7.2.2	Napětí v krutu	22

7.3	Redukované napětí	23
7.4	Bezpečnost	23
8	Kontrola spojovacích čepů	23
8.1	Kontrola na stříh	23
8.1.1	Střední poloměr	23
8.1.2	Funkční plocha při stříhu	23
8.1.3	Síla od kroutícího momentu	24
8.1.4	Napětí ve stříhu	24
8.2	Kontrola na otlačení	24
8.2.1	Funkční plocha při otlačení	24
8.2.2	Napětí při otlačení	24
9	Výpočet ložisek	25
9.1	Koncové ložisko kuličkové	25
9.1.1	Základní trvanlivost zvoleného ložiska	25
9.2	Koncové ložisko kuželíkové	26
9.2.1	Základní trvanlivost zvoleného ložiska	26
10	Závěr	27
11	Seznam použité literatury	29

Seznam použitých symbolů

$c_H [-]$	součinitel snižující dopravované množství vzhledem ke sklonu dopravníku
$C [-]$	Statická únosnost
$C_o [-]$	Dynamická únosnost
$d [m]$	Vnitřní průměr trubky
$d_\varepsilon [m]$	Průměr čepu
$D [m]$	Vnější průměr trubky
$D_\varepsilon [m]$	průměr šnekovnice
$F_a [N]$	Axiální síla
$F_A [N]$	Reakce v bodě A
$F_A^r [N]$	Radiální síla v bodě A
$F_B [N]$	Reakce v bodě B
$F_B^r [N]$	Radiální síla v bodě B
$F_C^r [N]$	Radiální síla v bodě C
$F_\varepsilon [N]$	Síla od kroutícího momentu
$F_D^r [N]$	Radiální síla v bodě D
$F_R [N]$	Radiální díla
$g [m \cdot s^{-2}]$	Gravitační zrychlení
$k [-]$	bezpečnost
$l_1 [m]$	Délka jedné části šnekového hřídele
$l_\varepsilon [m]$	Délka dráhy těžiště jednoho segmentu
$L [m]$	Dopravní vzdálenost
$L_H [hod]$	Základní trvanlivost ložiska
$m_{celk} [kg]$	Celková hmotnost šneku
$m_{hř} [kg]$	Hmotnost hřídele šneku
$m_\varepsilon [kg]$	Hmotnost šnekovnice
$M_B [Nm]$	Skutečný ohybový moment v bodě B
$M_B^o [Nm]$	Ohybový moment v bodě B
$M_C^o [Nm]$	Ohybový moment v bodě C
$M_D^o [Nm]$	Ohybový moment v bodě D
$Mo [Nm]$	Maximální ohybový moment

$M_{o_{CD}} [Nm]$	Skutečný ohybový moment v bodě C a D
$M_k [N.m]$	Kroutící moment
$n [ot / min]$	otáčky šneku
$P [W]$	Výkon motoru
$P_e [N]$	Ekvivalentní zatížení ložiska
$Q [kg.h^{-1}]$	dopravní výkon
$r_s [m]$	Střední poloměr
$r_T [m]$	Poloměr náležící těžišti mezikruží
$R_e [MPa]$	Mez pevnosti
$R_s [m]$	Účinný poloměr šnekovnice
$s [m]$	stoupání šnekovnice
$S_f [m^2]$	Plocha vzniklá radiálním řezem šnekovnice
$S_s [m^2]$	Funkční plocha při stříhu
$t [m]$	Tloušťka stěny trubky
$V [m^3.h^{-1}]$	objemové dopravní množství
$V_s [m^3]$	Objem jednoho segmentu šnekovnice
$V_{\bar{s}} [m^3]$	Objem šnekovnice
$W_k [m^3]$	Modul průřezu v krutu
$W_o [m^3]$	Modul průřezu v ohybu
$x [ks]$	Počet segmentů
$X [-]$	Součinitel radiálního zatížení
$Y [-]$	Součinitel axiálního zatížení
$\mu [-]$	Celkový součinitel odporu, závislý na skupině dopravovaného materiálu
$\alpha [^\circ]$	Úhel stoupání šnekovnice
$\varphi [^\circ]$	Úhel vnitřního tření
$\rho [kg.m^{-3}]$	objemová hmotnost
$\sigma_o [MPa]$	Napětí v ohybu
$\sigma_{oDOV} [MPa]$	Dovolené napětí v tlaku
$\sigma_{ot} [MPa]$	Napětí při otlačení
$\sigma_{RED} [MPa]$	Redukované napětí
$\tau_k [MPa]$	Napětí v krutu

τ_s [MPa]

Napětí ve stříhu

τ_{SDOV} [MPa]

Dovolené napětí ve stříhu

ψ [%]

součinitel plnění



FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

1 Úvod

Šnekové dopravníky patří mezi nejjednodušší zařízení sloužící k přepravě zvoleného materiálu. Základním principem tohoto typu dopravníku je posouvání dopravovaného materiálu ve žlabu rotací šneku. Jejich použití je velice rozsáhlé, jak pro samostatné využití, tak jako součást dopravního systému (výrobní linky apod.). Šnekové dopravníky se hodí pro dopravu převážně sypkého, neabrazivního materiálu jako je např. mouka, práškové vápno, obilí, až po materiály více abrazivní a kusovité, které se musí dopravovat při menším využití žlabu a menších rychlostech. Životnost pracovních orgánů ale výrazně klesá.

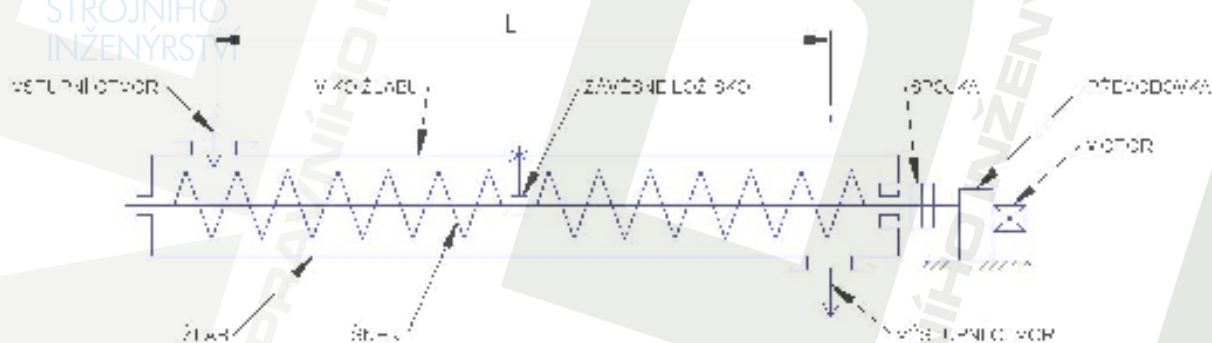
Základní rozdělení šnekových dopravníků:

- a) podle směru dopravy na
 - vodorovné,
 - šikmé,
 - svislé;
- b) podle smyslu stoupání šneku na:
 - pravotočivé,
 - levotočivé;
- c) podle počtu šneků na:
 - jednošnekové,
 - dvoušnekové

Dopravované množství se u těchto dopravníků pohybuje v rozmezí od 1 do 300 m³h⁻¹ a jejich délky dosahují až 60 m. Otáčky šneku jsou zpravidla v rozmezí 0,2 až 4 s⁻¹.

2 Konstrukce šnekových dopravníků

Jak bylo v předchozí části uvedeno, šnekový dopravník přemísťuje materiál pomocí rotujícího šneku, což je jedna ze základních částí mechanismu. Obr. 2.1 schématicky ukazuje šnekový dopravník a jeho základní části. V podstatě jde o plechový žlab, převážně tvaru U (může být i čistě kruhový aj.), ve kterém rotuje šnek.



obr.1 Schéma šnekového dopravníku

2.1 Šnek

Je velice důležitou částí dopravníku a ovlivňuje vlastnosti dopravníku. Skládá se z hřídele a šnekovnice.

Hřídel bývá plný i dutý s plnými čepy pro uložení v ložiskách. Přenáší kroutící moment od pohonu na šnekovnici. Při menších rozměrech šneku bývá plný kruhového průřezu, ovšem může být i čtvercový. Naopak při větších rozměrech se vyrábí z ocelové, tlustostěnné trubky. Při nízké váze mají značnou ohybovou tuhost. Čepy pro uložení hřídele v ložiskách jsou v trubce zalácovány a zajištěny šrouby nebo kolíky. Na hřídeli je upevněna (převážně přivařena) šnekovnice.

Šnekovnice tvoří pracovní část šneku. Jsou buď plné nebo obvodové. Plné šnekovnice jsou svařeny z dílů, které odpovídají jednomu závitů. Díly jsou vyrobeny lisováním za tepla. Vícechodé šneky jsou vhodné pro šikmé provedení, dopravující navíc velmi sypké materiály, neboť zabraňují zpětnému pohybu materiálu. Obvodové šnekovnice jsou opět tvořeny šroubovou plochou vytvořenou z plechu, která je upevněna ke hřídeli v určité odlehlosti pomocí držáků z ploché oceli. Vnější průměry šnekovnic jsou normalizovány v rozmezí od 160 do 500mm u plných a 320 až 630mm u obvodových. Hřídel šneku je z bezešvé trubky.

Šneky se z výrobních a montážních důvodů dělají v délce cca 2600mm, koncové díly 1000, 1300, 1950mm. Z těchto dílů se složí potřebná délka dopravníku. Hřídel šneku je uložen v předním a zadním čele žlabu zpravidla ve valivých ložiskách (jedno zachycuje axiální síly). Pro zamezení průhybu hřídele se ukládá v podpěrných(závěsných) ložiskách a to ve vzdálenosti 2,5 až 3m. Ovšem není to podmínkou.



FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

2.2 Žlab

Tvoří nosnou část dopravníku převážně tvaru U a jeho rozměry vyplývají z rozměrů šneku. Minimální vůle mezi šnekem a žlabem se uvádí 5 až 10mm. Stejně jako jsou šneky sestaveny do požadované délky jednotlivými sekcemi jsou i žlaby tvořeny ze sekcí o délkách v rozmezí 1,6 až 6m. Jsou zhotoveny z plechu o tloušťce 2 až 8mm. Horní část žlabu je ohraněna a to z důvodu vytvoření lemu, a tím zvýšení tuhosti žlabu a také umožnění upevnit víko, kterým se žlab podle potřeby zakrytuje.

Někdy se také pro snížení otěru materiálu a zabránění přičení materiálu mezi šnekem a žlabem, umísťuje šnek ve žlabu excentricky. Tím se zvětší vůle mezi šnekem a žlabem ve směru otáčení a vyplynou uvedené vlastnosti.

Dopravovaný materiál se do žlabu přivádí shora otvory, pokud je krytý. Odvádět materiál lze v libovolném místě, může být i na několika místech.

3 Určení hlavních parametrů šnekového dopravníku

3.1 Objemové dopravní množství

Základní výpočet pro objemové dopravní množství je proveden ze zadaných vstupních hodnot tj. dopravního výkonu $Q = 22000 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ a objemové hmotnosti $\rho = 1050 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q}{\rho} \\ V &= \frac{22000}{1050} = 20,95 \\ V &= 20,95 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned} \quad (3.1)$$

3.2 Volba otáček

Počet otáček a součinitel plnění jsou závislé na druhu dopravovaného materiálu. S přihlédnutím k druhu dopravovanému materiálu (vápenný hydrát), spadající podle [I] do skupiny prachových abrazivních materiálů (cement, písek...atd.), je volen součinitel plnění $\psi = 30\%$ a otáčky $n = 1,6 \text{ s}^{-1}$ z doporučeného rozmezí 1 až 2 s^{-1} .

3.3 Průměr a stoupání šnekovnice

Pro menší průměry šroubovice D považovat rovno stoupání s . Ze základního vzorce pro objemové dopravní množství $V = 3600 \cdot \frac{\pi \cdot D_s^3}{4} \cdot \psi \cdot n \cdot c_H$, je vyjádřen průměr. Hodnota c_H je rovna 1, jelikož se jedná o součinitel snižující dopravované množství vzhledem ke sklonu dopravníku.

$$\begin{aligned} D_s &= \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{3600 \cdot \pi \cdot \psi \cdot n \cdot c_H}} \\ D_s &= \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 20,95}{3600 \cdot \pi \cdot 0,3 \cdot 1,6 \cdot 1}} = 0,248 \\ D_s &= 0,25 \text{ m} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Průměr šroubovice a stoupání jsou si rovny tedy, $s = D_s = 250 \text{ mm}$, což odpovídá normalizovaným rozměrům.

4 Návrh hnacího ústrojí

4.1 Výkon motoru

$$P = \frac{Q \cdot \rho \cdot g}{3600} \cdot \mu \cdot L$$

$$P = \frac{20,95 \cdot 1050 \cdot 9,81}{3600} \cdot 3,5 \cdot 15$$

$$P = 3147 \text{ W}$$

(4.1)

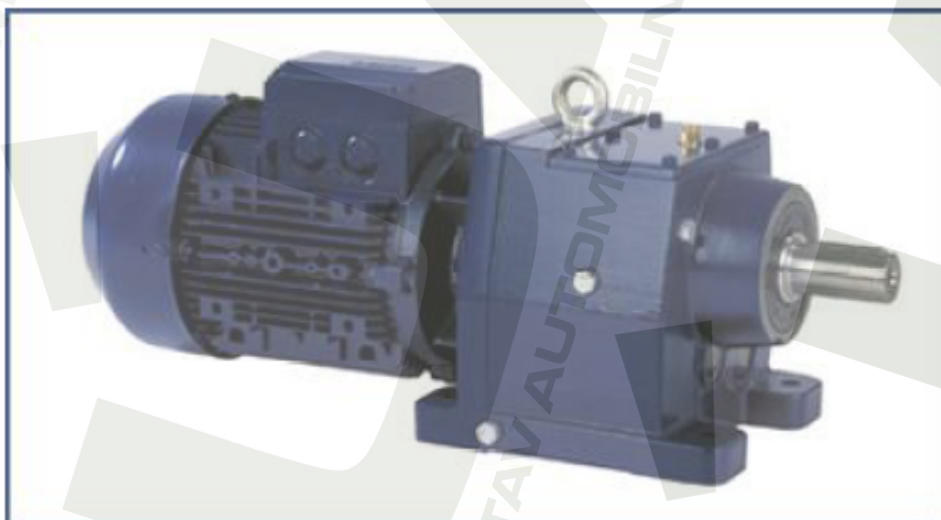
4.2 Volba motoru a převodovky

Z výpočtu 4.1 vyplývá minimální hodnota výkonu pro pohon.

K pohonu dopravníku je volena elektropřevodovka typu E box I, konkrétně E Box 25 I firmy *PSP Pohony a.s.* Jedná se čelní souosou převodovku s elektromotorem. V tomto provedení je využíván motor firmy Siemens, který spolu s převodovkou tvoří integrovaný celek.

Motor je trojfázový asynchronní o výkonu 5,5 kW. Díky převodovce s převodovým poměrem 16 jsou výstupní otáčky 92,6 ot/min což plně koresponduje s volenými otáčkami. Výstupní točivý moment je $M_K = 546,8 \text{ Nm}$. Hmotnost celku je 103 kg.

Točivý moment je dále na šnekovnici převáděn pomocí axiální čepové spojky firmy Sigad spol. s r.o. s typovým označením BKN typ 200. Hmotnost spojky je 20 kg.



obr.2 Pohon E Box 25 I firmy PSP Pohony a.s.

5 Výpočet hmotnosti šnekového hřídele

Jak již bylo uvedeno v úvodu, šnekovnice se skládá z hřídele, který je vyroben z ocelové bezešvé trubky a šnekovnice, která je vytvořena z ocelového plechu roztaženého na hodnotu stoupání a přivařeného k hřídeli.

Při výpočtu hmotnosti byla uvažována celá délka šnekovnice od ložiska k ložisku. V tomto případě se jedná o 16m.

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

5.1 Hmotnost hřídele

Hřídel je z ocelové bezešvé trubky materiálu 11 353 ČSN 42 5715.

- TR $\phi 60 \times 5$
- 1 m délky odpovídá 6,17kg

$$m_{\text{hřídel}} = 16 \cdot 6,17 = 98,72 \text{ kg} \approx 99 \text{ kg} \quad (5.1)$$

5.2 Hmotnost šnekovnice

Výpočet je prováděn dle Guldinovy věty.

5.2.1 Plocha vzniklá řezem šnekovnice

$$S_{\bar{r}} = \frac{D_s - D}{2} \cdot t$$
$$S_{\bar{r}} = \frac{0,25 - 0,06}{2} \cdot 0,01 = 0,00095 \quad (5.2)$$
$$S_{\bar{r}} = 9,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

5.2.2 Poloměr náležící těžišti mezikruží

$$r_T = \frac{D_s + D}{4}$$
$$r_T = \frac{0,25 + 0,0635}{4} = 0,0783 \quad (5.3)$$
$$r_T = 0,0783 \text{ m}$$

5.2.3 Délka dráhy těžiště jednoho závitu šnekovnice



$$l_s = \sqrt{(2 \cdot \pi \cdot r_T)^2 + s^2}$$
$$l_s = \sqrt{(2 \cdot \pi \cdot 0,0783)^2 + 0,25^2} = 0,5518$$
$$l_s = 0,552m$$
(5.4)

5.2.4 Objem jednoho závitu

$$V_s = S_s \cdot l_s$$
$$V_s = 9,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,552 = 9,552 \cdot 10^{-4} = 5,244 \cdot 10^{-4}$$
$$V_s = 5,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$
(5.5)

5.2.5 Potřebný počet segmentů

$$x = \frac{L}{s}$$
$$x = \frac{16}{0,25} = 64$$
$$x = 64ks$$
(5.6)

5.2.6 Objem celé šnekovnice

$$V = V_s \cdot x$$
$$V = 5,25 \cdot 10^{-4} \cdot 64 = 0,0336$$
$$V = 0,0336 \text{ m}^3$$
(5.7)

5.2.7 Hmotnost celé šnekovnice

$$m_{\bar{s}} = V \cdot \rho$$
$$m_{\bar{s}} = 0,0336 \cdot 7850 = 263,76$$
$$m_{\bar{s}} = 264 \text{ kg}$$
(5.8)

5.3 Hmotnost šneku

$$m_{celk} = m_{\bar{s}} + m_{hř}$$
$$m_{celk} = 264 + 99 = 363$$
$$m_{celk} = 363 \text{ kg}$$
(5.9)

5.4 Spojité zatížení

$$q = \frac{m \cdot g}{L}$$

$$q = \frac{363 \cdot 9,81}{16} = 222,56$$

$$q = 223 \text{ N/m}$$

(5.10)



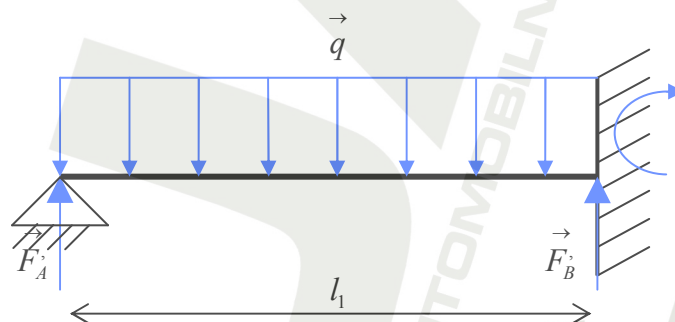
6 Výpočet reakcí

Výpočet reakcí vede k staticky neurčité úloze, jejichž výpočet by vyžadoval řešení pomocí tří momentové Clapeyronovu věty. Tento způsob vede k dosti obtížnému řešení proto je výpočet prováděn pomocí odvozených vztahů, které pro výpočet plně vyhovují.

U šnekového hřídele je nutné zabezpečit, aby nedocházelo k nadměrnému průhybu hřídele. Proto jsou převážně šnekové hřídele uloženy v podpěrných ložiskách, které tento jev eliminují. Doporučená vzdálenost se uvádí 2,5 až 3 m. V tomto případě se jedná o 2630 mm, což plně vyhovuje uvedenému rozmezí.

6.1 První část šneku

První část hřídele je myšlena jako část od koncového valivého ložiska k sousednímu podpěrnému kluznému ložisku. Vzdálenost těchto bodů je 2630 mm. Tento výpočet platí i pro druhé koncové ložisko, jelikož je hřídel symetrický.



Obr.3 Reakce v první části

6.1.1 Radiální síla v koncovém ložisku, bod A



$$F'_A = \frac{3}{8} q \cdot l_1$$

$$F'_A = \frac{3}{8} \cdot 223 \cdot 2,63 = 219,93$$

$$F'_A = 220 \text{ N}$$

(6.1)

6.1.2 Radiální síla v podpěrném ložisku, bod B

$$F'_B = \frac{5}{8} q \cdot l_1$$

$$F'_B = \frac{5}{8} \cdot 223 \cdot 2,63 = 366,55$$

$$F'_B = 367 \text{ N}$$

(6.2)

6.1.3 Ohybový moment působící v bodě B

$$M'_B = \frac{1}{8} q \cdot l_1^2$$

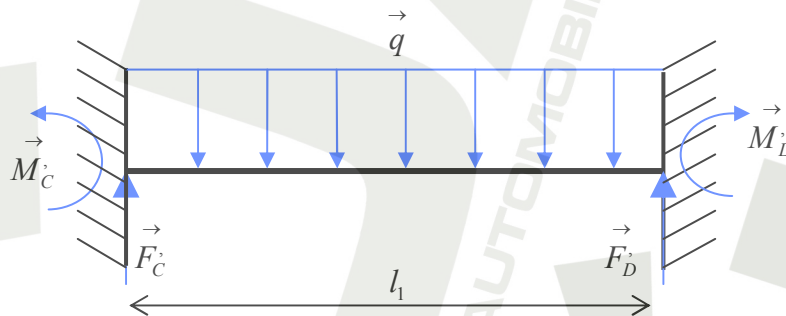
$$M'_B = \frac{1}{8} \cdot 223 \cdot 2,63^2 = 192,8$$

$$M'_B = 193 \text{ Nm}$$

(6.3)

6.2 Prostřední část šneku

Prostřední část je brána jako část mezi podpěrnými ložisky, tedy výpočet platí pro 4 úseky s kluznými ložisky.



Obr.3 Reakce v druhé části

6.2.1 Radiální síla v podpěrných ložiskách, body C a D


$$F_C = F_D = \frac{q \cdot l_1}{2}$$
$$F_C = F_D = \frac{223 \cdot 2,63}{2} = 293,24$$
$$F_C = F_D = 293 \text{ N}$$
(6.4)

6.2.2 Ohybový moment působící v bodě C

$$M_C = -\frac{1}{12} q \cdot l_1^2$$
$$M_C = -\frac{1}{12} \cdot 223 \cdot 2,63^2 = -128,53$$
$$M_C = -129 \text{ Nm}$$
(6.5)

6.2.3 Ohybový moment působící v bodě D

$$M_D = \frac{1}{12} q \cdot l_1^2$$
$$M_D = \frac{1}{12} \cdot 223 \cdot 2,63^2 = 128,53$$
$$M_D = 129 \text{ Nm}$$
(6.6)

6.3 Celkové reakce

6.3.1 Reakce pro koncová ložiska

$$F_A = F_A$$
$$F_A = 220 \text{ N}$$
(6.7)

$$F_B = F_B + F_C$$
$$F_B = 367 + 293 = 660$$
(6.8)

$$F_B = 660 \text{ N}$$

$$M_B = M_C - M_D$$
$$M_B = 129 - 193 = -64$$
(6.9)

$$M_B = -64 \text{ Nm}$$

6.3.2 Reakce pro podpěrná ložiska

$$F_{CD} = F_C + F_D$$
$$F_{CD} = 467 + 467 = 934$$
(6.10)

$$F_{CD} = 934 \text{ N}$$



$$M_{o_{CD}} = M_C + M_D$$

$$M_{o_{CD}} = 129 - 129 = 0$$

$$M_{o_{CD}} = 0 \text{ N}$$

(6.11)

6.4 Axiální síla působící na hřídel šneku

FAKULTA
STROJNÍ
INŽENÝRSTVÍ

Axiální síla vzniká důsledkem pohybujícího se materiálu.

6.4.1 Účinný poloměr šnekovnice

$$R_s = (0,7 \div 0,8) \cdot \frac{D_s}{2}$$

$$R_s = 0,75 \cdot \frac{0,25}{2} = 0,0937$$

$$R_s = 0,0937 \text{ m}$$

(6.12)

6.4.2 Úhel stoupání šnekovnice

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{s}{\pi \cdot D_s}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{0,25}{\pi \cdot 0,25} = 0,318$$

$$\alpha = 17^{\circ}39'24,44$$

(6.13)

6.4.3 Axiální síla působící na hřídel šneku

$$F_a = \frac{M_K}{R_s \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi)}$$

$$F_a = \frac{546}{0,0937 \cdot \operatorname{tg}(17^{\circ}39'24,44 + 30^{\circ})} = 5313,3$$

$$F_a = 5313 \text{ N}$$

(6.14)

7 Pevnostní výpočet



7.1 Ohybové namáhání

Největší moment působí v bodě B.

$$M_o = 64 \text{ Nm}$$

7.1.1 Modul průřezu v ohybu

$$W_o = \frac{\pi}{32} \frac{D^4 - d^4}{D}$$
$$W_o = \frac{\pi}{32} \frac{0,0635^4 - 0,0535^4}{0,0635} = 1,247 \cdot 10^{-5} \quad (7.1)$$
$$W_o = 1,247 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

7.1.2 Napětí v ohybu

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o}$$
$$\sigma_o = \frac{64}{1,247 \cdot 10^{-5}} = 5,13 \quad (7.2)$$
$$\sigma_o = 5,2 \text{ MPa}$$

7.2 Namáhání na krut

7.2.1 Modul průřezu v krutu

$$W_k = \frac{\pi}{16} \left(\frac{D^4 - d^4}{D} \right)$$
$$W_k = \frac{\pi}{16} \left(\frac{0,0635^4 - 0,0535^4}{0,0635} \right) = 2,494 \cdot 10^{-5} \quad (7.3)$$
$$W_k = 2,494 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

7.2.2 Napětí v krutu

$$\tau_K = \frac{M_K}{W_K}$$
$$\sigma_o = \frac{546}{2,494 \cdot 10^{-5}} = 21,89 \quad (7.4)$$
$$\sigma_o = 21,9 \text{ MPa}$$

7.3 Redukované napětí



$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_K^2}$$

$$\sigma_{RED} = \sqrt{5,2^2 + 3 \cdot 21,9^2} = 38,28$$

$$\sigma_{RED} = 39 \text{ MPa}$$

(7.5)

7.4 Bezpečnost

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Pro materiál 11 353 Re = 260 MPa

$$k = \frac{R_e}{\sigma_{RED}}$$

$$k = \frac{260}{39} = 6,66$$

$$k = 6,6$$

(7.6)

8 Kontrola spojovacích čepů

8.1 Kontrola na stříh

8.1.1 Střední poloměr

$$r_s = \frac{D + d}{4}$$

$$r_s = \frac{63,5 + 53,5}{4} = 29,25$$

$$r_s = 29,25 \text{ mm}$$

(8.1)

8.1.2 Funkční plocha při stříhu

$$S_s = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} \cdot 4$$

$$S_s = \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} \cdot 4 = 8,04 \cdot 10^{-4}$$

$$S_s = 8,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

(8.2)

8.1.3 Síla od kroučícího momentu



$$F_{\bar{c}} = \frac{M_K}{r_s}$$
$$F_{\bar{c}} = \frac{546}{0,02925} = 18666,66$$
$$F_{\bar{c}} = 18,7 \text{ kN}$$
(8.3)

8.1.4 Napětí ve střihu

$$\tau_s = \frac{F_s}{S_s}$$
$$\tau_s = \frac{F_s}{S_s} = \frac{18,7}{0,804} = 23,25$$
$$\tau_s = 23,3 \text{ MPa}$$
(8.4)

Pro materiál 11 600 je $\tau_{SDOV} = 60 \text{ MPa}$ tedy čep na střih vyhovuje

8.2 Kontrola na otláčení

8.2.1 Funkční plocha při otláčení

$$S_o = 4 \cdot d_{\bar{c}} \cdot t$$
$$S_o = 4 \cdot 0,016 \cdot 0,005 = 3,2 \cdot 10^{-4}$$
$$S_o = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$
(8.5)

8.2.2 Napětí při otláčení

$$\sigma_{ot} = \frac{F_s}{S_o}$$
$$\sigma_{ot} = \frac{F_s}{S_o} = \frac{18,7}{0,32} = 58,43$$
$$\sigma_{ot} = 58,43 \text{ MPa}$$
(8.6)

Pro materiál 11 600 je $\sigma_{oDOV} = 110 \text{ MPa}$ tedy čep na otláčení vyhovuje.

9 Výpočet ložisek

Pro zachycení reakčních sil jsou použity dvě koncová radiální ložiska, která jsou umístěna v bočních částech žlabu a utěsněna těsněními.

9.1 Koncové ložisko kuličkové

Je voleno jednořadé kuličkové ložisko firmy SKF, označení 6212. Ložisko zachycuje radiální síly vznikající vahou šnekového hřídele. Jak již bylo uvedeno v části pro výpočet reakcí, jsou tyto síly v důsledku symetrie stejné velikosti. Utěsnění je realizováno hřídelovými těsnicími kroužky.

$$\begin{aligned}F_r &= 220 \text{ N} \\F_a &= 0 \text{ N} \\C &= 55300 \text{ N} \\C_0 &= 36000 \text{ N}\end{aligned}\tag{9.1}$$

Keficienty

$$\begin{aligned}X &= 1 \\Y &= 0\end{aligned}\tag{9.2}$$

Dynamické ekvivalentní zatížení

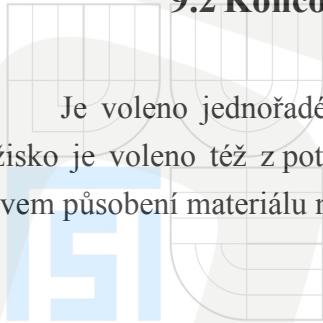
$$\begin{aligned}P_e &= X \cdot F_r + Y \cdot F_a \\P_e &= 1 \cdot 220 = 220 \\P_e &= 220 \text{ N}\end{aligned}\tag{9.3}$$

9.1.1 Základní trvanlivost zvoleného ložiska

$$\begin{aligned}L_h &= \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \\L_h &= \left(\frac{55300}{220}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 96} = 2757305379 \\L_h &= 27,6 \cdot 10^8 \text{ hod}\end{aligned}\tag{9.4}$$

9.2 Koncové ložisko kuželíkové

Je voleno jednořadé kuželíkové ložisko firmy SKF, označení 33012/Q. Kuželíkové ložisko je voleno též z potřeby zachytit nejen radiální síly, ale také axiální síly vznikající vlivem působení materiálu na šnekovnicu.



FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

$$F_r = 220 \text{ N}$$

$$F_a = 5313 \text{ N}$$

$$C = 106000 \text{ N}$$

$$C_0 = 143000 \text{ N}$$

(9.5)

Koeficienty

$$X = 0,4$$

$$Y = 1,8$$

(9.6)

Dynamické ekvivalentní zatížení

$$P_e = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

$$P_e = 0,4 \cdot 220 + 1,8 \cdot 5313 = 9651,4$$

$$P_e = 9652 \text{ N}$$

(9.7)

9.2.1 Základní trvanlivost zvoleného ložiska

$$L_h = \left(\frac{C}{P} \right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n}$$

$$L_h = \left(\frac{106000}{9652} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 96} = 229955$$

$$L_h = 2,3 \cdot 10^5 \text{ hod}$$

(9.8)

10 Závěr

K vypracování této bakalářské práce jsou využity poznatky v rozsahu bakalářského studia a také s využitím uvedené literatury.

Největším problémem u konstrukce šnekových dopravníků je dostatečně zabezpečit ložiska proti vnikání nečistot ze žlabu a okolního prostředí. S tímto případem je problém řešen těsnícími kroužky Gufero a V-kroužky u podpěrných kluzných ložisek a těsnícími kroužky u ložisek koncových. Uvedené řešení se zdá být vhodným. Axiální síly zachycuje kuželíkové ložisko.

Další důležitou věcí je, aby nedocházelo k nežádoucímu průhybu hřídele. Toto je řešeno podpěrnými ložisky, které jsou umístěny v určité vzdálenosti a upevněny upevněny ke žlabu.

V přílohách je obsažena potřebná výkresová dokumentace se zobrazením jednotlivých důležitých prvků šnekového dopravníku, která byla vytvořena v 3D programu SolidWorks.



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

11 Seznam příloh

1. Sestavný výkres šnekového dopravníku
1-ŠD-00/00
2. Uložení hřídele - motor
3-ŠD-03/01
3. Uložení hřídele
3-ŠD-02/01
4. Kluzné ložisko
3-ŠD-01/06
5. Kusovník
K-1-ŠD-00/00

12 Seznam použité literatury

1. Leinveber, Jan; Vávra, Pavel. Strojnické tabulky. 1. vyd. Úvaly: ALBRA, 2003. ISBN 80-86490-74-2.
2. Boháček, František a kol. Části a mechanismy strojů 2: hřídelel, tribologie, ložiska. Brno: ediční středisko VUT Brno, 1983
3. Cvelk, Zdeněk; Zavadil, Jaroslav. Zdvihací stroje a dopravníky II. díl: Dopravníky. Praha, 1964.
4. Cvelk, Zdeněk; Zavadil, Jaroslav. Zdvihací stroje a dopravníky II. díl: Dopravníky-obrazová část. Praha, 1964.
5. Svoboda, Pavel; Brandejs, Jan; Kovařík, Robert; Sobek, Evžen. Základy konstruování: Výběr z norem pro konstrukční cvičení. Brno: CERM, 2001
6. Oficiální stránky firmy SIGAD
<http://www.sigad.cz/spojky/axialni-cepove-spojky-bkn/>
7. Oficiální stránky firmy PSP pohony
http://www.pohony.cz/cze/product_detail.php?id=33
8. Oficiální stránka firmy SKF
http://www.skf.com/portal/skf_cz/home