

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

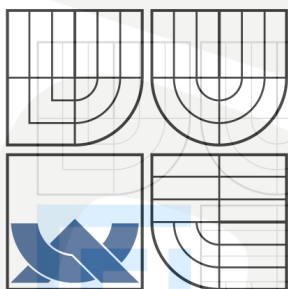
ŠNEKOVÝ DOPRAVNÍK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ PELKA

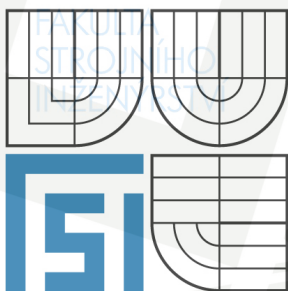
BRNO 2009



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

ŠNEKOVÝ DOPRAVNÍK

WORM CONVEYOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ PELKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ MALÁŠEK, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tomáš Pelka

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Šnekový dopravník

v anglickém jazyce:

Worm conveyor

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Provést výpočet a konstrukční řešení dopravníku pro zadané rozměrové a výkonnostní parametry.

Dopravní výkon 18 000kg.h-1

Dopravní vzdálenost 30m

Dopravovaný materiál - vápenný hydrát,
objemové hmotnosti 1050kg.m-3.

Cíle bakalářské práce:

Proveďte funkční výpočet, určení hlavních rozměrů
a návrh pohonu.

Proveďte pevnostní výpočet hřídele šneku.

Nakreslete sestavný výkres dopravníku,
nakreslete jednotlivé detaily šnekového hřídele.

Seznam odborné literatury:

1. Dražan, F. a kol.: Teorie a stavba dopravníků
2. Kolář, D. a kol.: Části a mechanismy strojů
3. Ondráček, E., Vrbka, J., Janíček, P.: Mechanika těles - pružnost a pevnost II VUT Brno, 1988
4. Jančík, L.: Části a mechanismy strojů, ČVUT Praha, 2004
5. Klimeš P.: Části a mechanismy strojů I, II, VUT Brno 2003
6. Janíček P., Ondráček E., Vrbka J.: Pružnost a pevnost, VUT Brno, 1992
7. Gajdůšek, J., Škopán, M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení, skripta VUT Brno 1988

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 30.10.2008

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá, specifikuje a konstrukčně navrhuje řešení šnekového horizontálního dopravníku.

Práce je rozdělena na výkresovou a textovou část s výpočtem dopravovaného materiálu spolu se stanovením výkonu elektromotoru. Dále je v textové části proveden návrh hlavních rozměrů dopravníku včetně pevnostní kontroly šneku, řešení závěsných ložisek, problematika montáže, údržby a možné výměny šneku v případě opotřebení.

Klíčová slova: šnekový dopravník, dopravní výkon, dopravní délka, koeficient tření, výkon elektromotoru, šnek, šnekovnice, žlab

Abstract

This bachelor project deals with, specifies and makes design of the worm horizontal conveyor. The project is divided into drawings and written part including the functional capacity calculation and electromotor output. Further the part includes proposal of key dimensions of the conveyor with the solidity control of the worm, solving of the suspended bearings, assemble issues, maintenance and potencial exchange of the worm due to abrasion.

Key words: worm conveyer, transportation output, transportation lenght, friction factor, elektromotor output, the worm screw, the shoot

Bibliografická citace mé práce:

PELKA, T. Šnekový dopravník. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 42 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

FAKULTA
INŽENÝRSTVÍ

Prohlášení:

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

V Brně dne 29. května 2009

.....
Tomáš Pelka



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Poděkování:

Za cenné rady a připomínky při zpracování bakalářské práce tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Jiřímu Maláškovi, Ph.D. Dále chci poděkovat celé své rodině za podporu při studiu na vysoké škole.

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Výpočet základních rozměrů dopravníku	12
3. Stanovení výkonu motoru	12
4. Volba převodovky	13
5. Přepočet skutečných hodnot.....	14
5.1 Otáčky a kroutící moment šneku	14
5.2 Dopravní výkon	14
5.3 Vyhodnocení výpočtu	14
6. Odpor materiálu	14
6.1 Odpor materiálu působící na šneka.....	14
6.2 Odpor materiálu působící na žlab.....	15
7. Hmotnost šneku	16
7.1 Ocelová trubka	17
7.2 Šnekovnice.....	17
7.3 Celková hmotnost šneku (trubka a šnekovnice).....	18
8. Výpočet hřídele šneku	19
8.1 Určení výsledných vnitřních účinků (VVU)	19
8.2 Kontrola na statické namáhání	23
8.3 Kontrola na dynamické namáhání (únavová pevnost)	25
8.4 Výpočet kolíkového spoje.....	27
9. Návrh ložisek	29
9.1 Ložisko v bodu C.....	29
9.2 Ložisko v bodu K	29
10. Části šnekového dopravníku.....	30
10.1 Šnek	30
10.2 Žlab	31
10.3 Vstup a výstup z dopravníku	32
10.4 Závěsná ložiska.....	32
10.5 Přichycení pohonné jednotky	33
10.6 Víko žlabu.....	33
10.7 Podpěrné patky	33
10.8 Spojky trubkového hřídele.....	33
10.9 Bezpečnostní zařízení	34

11. Montáž dopravníku	34
11.1 Montážní plocha	34
11.2 Montáž žlabu	34
11.3 Montáž šnekových hřídelí a závěsných ložisek	35
11.4 Vymezení vůle axiálního ložiska	36
11.5 Montáž vík	36
11.6 Montáž tlakoměru	36
12. Uvedení do provozu a kontrola před předáním zařízení	36
13. Údržba stroje	37
13.1 Čelní převodovka	37
13.2 Mazání ložisek	37
14. Závěr	38
Seznam použitých zdrojů	39
Seznam použitých symbolů	40
Seznam příloh	42
Seznam výkresové dokumentace	42

1. Úvod

Šnekové dopravníky patří mezi dopravníky s jednoduchou konstrukcí a obsluhou.

Tyto dopravníky s rozvojem přesnosti výrobních strojů a zařízení a spolu s prudkým rozvojem požadavků průmyslu v dopravní a manipulační technice sypkých materiálů při výrobě a manipulaci stavebních hmot tak i manipulaci se sypkými materiály (vápenec, popílek, biomasu) v tepelných elektrárnách a teplárnách dali tomuto segmentu rozvoj a následné zvýšení spolehlivosti a availability (dostupnosti) tohoto zařízení během trvalého provozu. Dále se šnekové dopravníky v rámci investování systému řízení a automatizace investičního celku staly pro svou schopnost regulovatelného přenosu množství jedním ze základních částí v systému manipulace se sypkými hmotami.

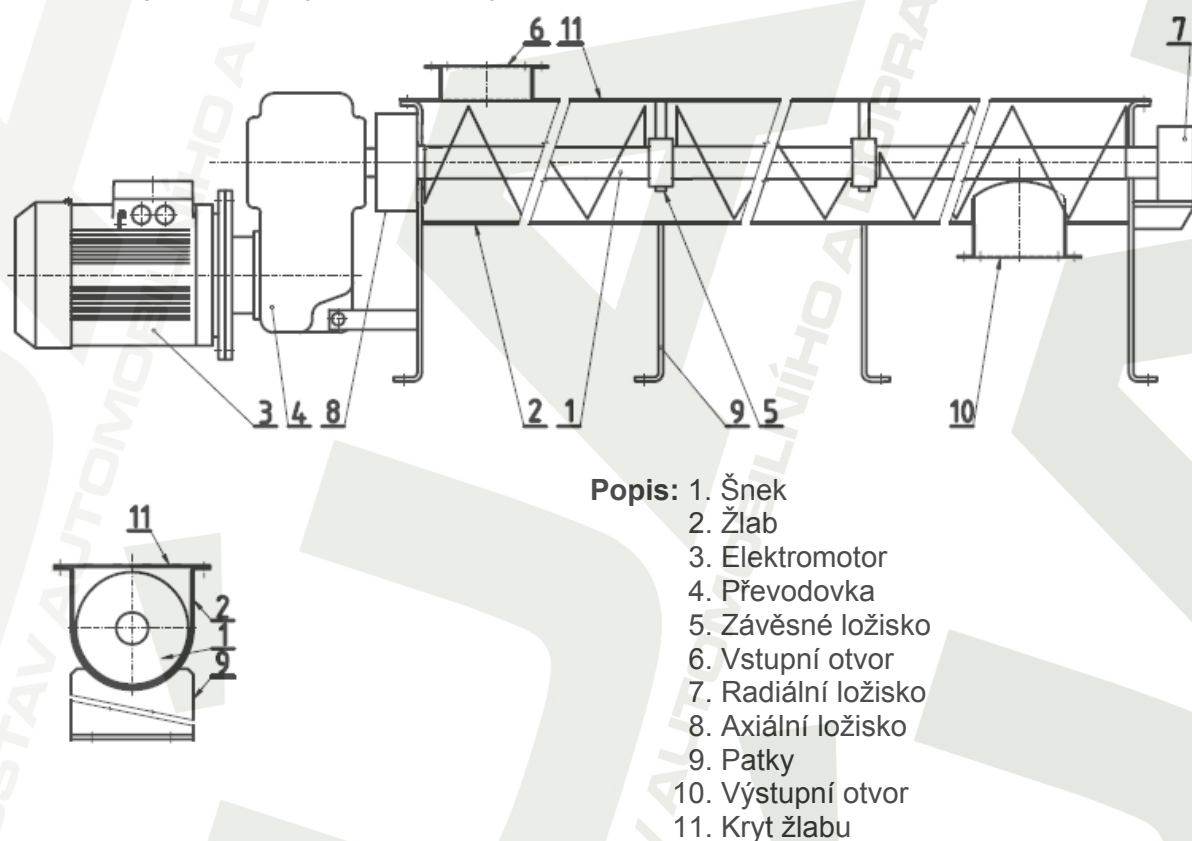
Další výhodou je, že z hlediska dispozice zabírají relativně malý prostor a dále základní údržba spočívá pouze ve vizuální kontrole opotřebení šneku a kontrole mazání a vůlí ložisek šneku a plynulosti chodu elektromotoru s převodovkou.

Mezi základní nevýhody šnekového dopravníku lze uvést poměrně rychlé opotřebení vlastní šnekovnice působením abrazivních částí a dále vlastní spotřeba elektrické energie pohonu s převodovkou v poměru k dopravovanému množství.

Šnekový dopravník se skládá ze tří základních součástí:

- šneku (1)
- žlabu (2)
- pohonu s převodovkou (3)

Další části jsou popsány a znázorněny na schematickém obrázku.



- Popis:**
1. Šnek
 2. Žlab
 3. Elektromotor
 4. Přebodovka
 5. Závěsné ložisko
 6. Vstupní otvor
 7. Radiální ložisko
 8. Axiální ložisko
 9. Patky
 10. Výstupní otvor
 11. Kryt žlabu

Obr. 1 Schéma šnekového dopravníku

Popis vlastního principu a činnosti šnekového dopravníku:

Šnekový dopravník je v podstatě plechový žlab (2) o průřezu písmene tvaru U, ve kterém rotuje šnek (1), uložený v několika ložiskách (5, 7, 8). Tímto rotujícím šnekem je vyvolána síla potřebná k transportu materiálu. Podmínkou přenosu pohybu je, aby tření dopravovaného materiálu o stěny žlabu (2) bylo větší než tření materiálu o povrch šneku (1). Otáčivý pohyb šnekovnice uložené v dopravním žlabu mění polohu šikmých ploch závitu ve vertikálním a horizontálním směru. Tímto složeným posuvným a otáčivým pohybem posouvá materiál ze vstupní (6) na výstupní otvor dopravníku (10).

Materiál je gravitační silou přesouván na šikmých plochách otáčející se šnekovnice.

Z hlediska mechaniky lze tedy konstatovat, že se dopravovaný materiál chová jako neotočná posuvná matice pohybového šroubu.

Šprávná funkce dopravníku je navíc podmíněna pouze částečným naplněním šneku.

Používá se pro vodorovnou, šikmou a také svislou dopravu. Velmi vhodný je pro dopravu prašných, sypkých, zrnitých a drobných kusových materiálů do velikosti 60 mm.

V některých průmyslových technologiích a aplikacích šnekový dopravník plní nejen funkci dopravní ale i mísící, hnětací a mycí. Jejich uplatnění je nejen ve standardním průmyslu dopravy sypkých hmot jako potravinářství, stavebnictví a uhelné a popílkové systémy parních kotlů ale i doprava hustých kalů v čistíčkách odpadních vod.

2. Výpočet základních rozměrů dopravníku

Objemový dopravní výkon

$$Q_v = \frac{Q}{\rho} = \frac{18000}{1050} \quad (2.1)$$
$$Q_v = 17,15 m^3 h^{-1}$$

Průměr šneku

$$Q_v = 3600 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot s \cdot \psi \cdot n \cdot c_H \Rightarrow D \quad (2.2)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot Q_v}{3600 \cdot \pi \cdot \psi \cdot n \cdot c_H}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 17,15}{3600 \cdot \pi \cdot 0,35 \cdot 2,1 \cdot 1}}$$

$$D = 202 mm$$

$c_H = 1$ - dle lit. [1] str. 93 pro vodorovný dopravník

$\psi = 0,35$ – voleno dle lit. [2] str. 102 pro vápenný hydrát

$n = 2,1$ – voleno dle lit. [2] str. 102 pro neabrazivní, lehký práškový nebo zrnitý materiál
 $s \approx D$

Předběžný průměr šneku je 202 mm. Voleno nejbližší průměr šneku dle lit [10].

D = 200mm.

Pak stoupání šnekovnice **$s \approx D = 200 mm$** dle lit [4] str. 180.

3. Stanovení výkonu motoru

Výkon elektromotoru

$$P = \frac{Q_v \cdot \rho \cdot g}{3600} \cdot (L \cdot w) = \frac{17,15 \cdot 1050 \cdot 9,81}{3600} \cdot (30 \cdot 2,5) \quad (3.1)$$

$$P = 3678,8 W = 3700 W = 3,7 kW$$

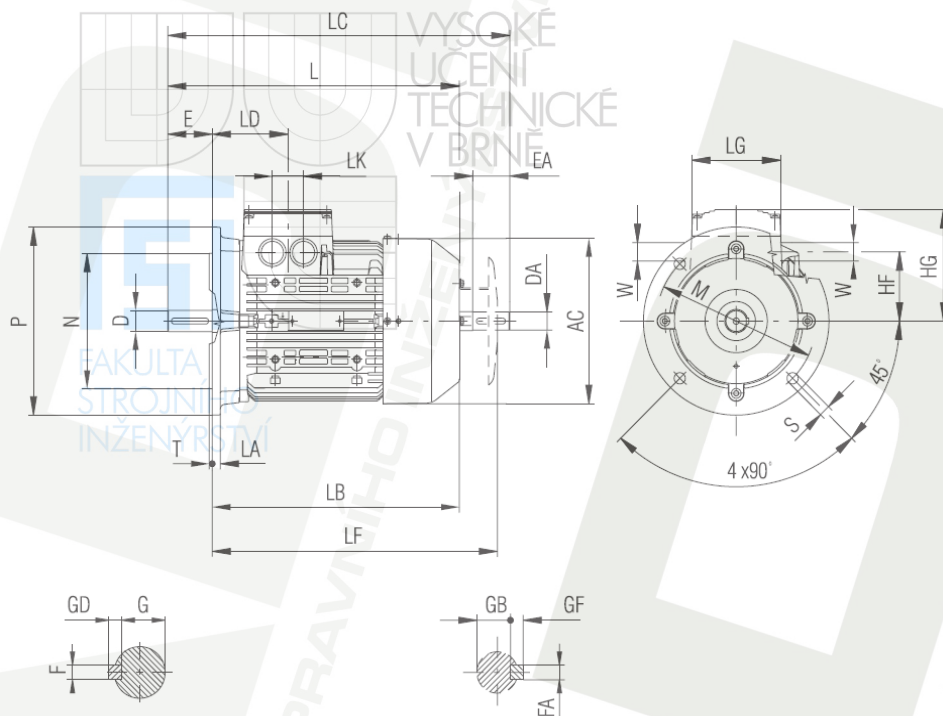
$w = 2,5$ - dle lit. [5] str.210 pro vápenný hydrát

Minimální výkon motoru pro pohon šnekového dopravníku je dle výpočtu $P = 3,7 kW$. Navrhují elektromotor od firmy SIEMENS o výkonu $P = 5,5 kW$. Otáčky elektromotoru jsou $n_M = 1455 min^{-1}$. Elektromotor lze objednat pod modulovým číslem 1LA7 130 - 4AA.11. Motor je přírubového provedení, asynchronní, trojfázový, 4 – pólový. Hmotnost motoru je 42,5 kg.

Tvar: IM B5

Velikost: 132 S

Více informací o tomto výrobku najdete na webových stránkách nebo katalogu [11] výrobce.



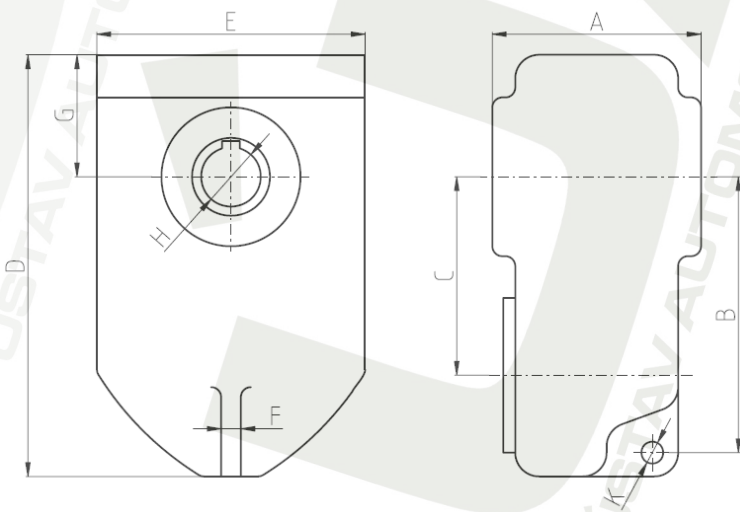
Obr. 2 Elektromotor

Tab. 1 Rozměry motoru

Velikost	Velikost příruby	AC	HF	HG	L	LA	LB	LC	LD	LF	LG	LK	M	N
132S	FF 265	259	107	167	454	12	374	552	128,5	426	140	42	265	230
Velikost	P	S	T	W	D	DA	E	EA	F	FA	G	GB	GD	GF
132S	300	14,5	4	32,3	38	38	80	80	10	10	33	33	8	8

4. Volba převodovky

Volena čelní převodovka od firmy TOS – ZNOJMO. Převodovka je specifikována pod číslem TNC 42 251. Hmotnost převodovky je 77 kg, převodové číslo $i = 11,1$. Maximální přenášený moment převodovky je $M_{2max} = 813 \text{ Nm}$, výstupní otáčky $n_2 = 131 \text{ min}^{-1}$. Tato mechanická převodovka lze v současnosti v rámci inovací a standardizací začlenit jako integrovanou jednotku skládající se z vlastního elektromotoru a převodovky.



Obr. 3 Čelní převodovka

Tab. 2 Hlavní rozměry

Pozice	Hodnota
A	210 mm
B	278 mm
C	200 mm
D	425 mm
E	270 mm
F	20 mm
G	123 mm
H	50 mm
K	22 mm

5. Přepoččet skutečných hodnot

5.1 Otáčky a kroutící moment šneku

$$n_s = \frac{n_M}{i} = \frac{1455}{11,1} \quad (5.1)$$

$$n_s = 131 \text{ min}^{-1} = 2,18 \text{ s}^{-1}$$

$$i = 11,1 \text{ dle lit. [17]}$$

$$M_k = \frac{P_{(el)}}{2 \cdot \pi \cdot n_s} = \frac{5500}{2 \cdot \pi \cdot 2,18} \quad (5.2)$$

$$M_k = 400,7 \text{ Nm} \approx 400 \text{ Nm}$$

5.2 Dopravní výkon

$$Q_s = 3600 \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot s \cdot \psi \cdot n_s \cdot c_H = 3600 \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} \cdot 0,2 \cdot 0,35 \cdot 2,18 \cdot 1 \quad (5.3)$$

$$Q_s = 17,26 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$$

5.3 Vyhodnocení výpočtu

$$\Delta = \frac{Q_s - Q_v}{Q_s} \cdot 100 = \frac{17,26 - 17,15}{17,26} \cdot 100 \quad (5.4)$$

$$\Delta = 0,6\%$$

Skutečné dopravované množství se liší pouze 0,6% od vypočteného ze zadaných hodnot. Výše uvedený výpočet s odchylkou 0,6% je plně **vyhovující**.

6. Odpor materiálu

6.1 Odpor materiálu působící na šneka

$$F_A = \frac{M_k}{R_s \cdot \text{tg}(\alpha_1 + \varphi_1)} = \frac{400}{0,08 \cdot \text{tg}(17^\circ + 25^\circ)} \quad (6.1)$$

$$F_A = 5500 \text{ N}$$

Výpočet účinného poloměru

$$R_s = 0,4 \cdot D = 0,4 \cdot 0,2 \quad (6.2)$$

$$R_s = 0,08 \text{ m}$$

Úhel stoupání šroubovice

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{s}{\pi \cdot D} = \frac{0,2}{\pi \cdot 0,2} \quad (6.3)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = 0,31831 \Rightarrow \alpha_1 = 17^\circ$$

Třecí úhel mezi šnekem a materiálem

$\varphi_1 = 25^\circ = 0,43 \text{ rad}$ - dle lit. [3] str. 1482.

6.2 Odpor materiálu působící na žlab

Plná plocha průřezu žlabu

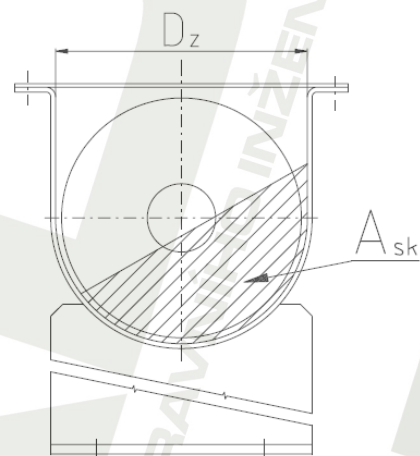
$$A_p = \frac{\pi \cdot D_z^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,21^2}{4} \quad (6.4)$$

$$A_p = 0,3464 \text{ m}^2$$

Plocha zaplnění materiálu

$$A_{sk} = \psi \cdot A_p = 0,35 \cdot 0,3464 \quad (6.5)$$

$$A_{sk} = 0,012 \text{ m}^2$$



Obr. 4 Zaplnění žlabu

Navrhuji výpočet se zaplněním průřezu žlabu do poloviny šneku. Toto je přijatelné zahrnutí vlivů (odpor navzájem míchajícího se materiálu, nejednotné zatížení žlabu materiálem nahnutým na jeho stěny), které by podstatně komplikovaly výpočet.

Uvažovaná plocha zaplnění žlabu

$$A = \frac{\pi \cdot D_z^2}{8} = \frac{\pi \cdot 0,21^2}{8} \quad (6.6)$$

$$A = 0,0174 \text{ m}^2$$

Silový účinek materiálu na žlab

$$F_N = A \cdot L \cdot \rho \cdot g = 0,0174 \cdot 30 \cdot 1050 \cdot 9,81 \quad (6.7)$$

$$F_N = 5380 \text{ N}$$

Tření

$$f = \operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} 25^\circ \quad (6.8)$$

$$f = 0,47$$

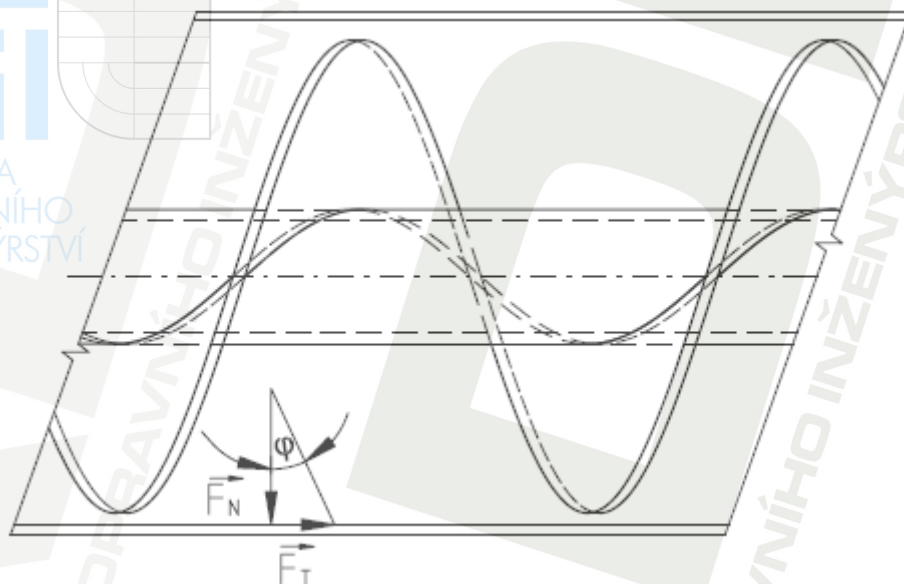
$\varphi = 25^\circ$ - dle lit. [3] str. 1482.

Axiální síla vzniklá působením na žlab

$$F_T = F_N \cdot f = 5380 \cdot 0,47$$

(6.9)

$$F_T = 2530 \text{ N}$$

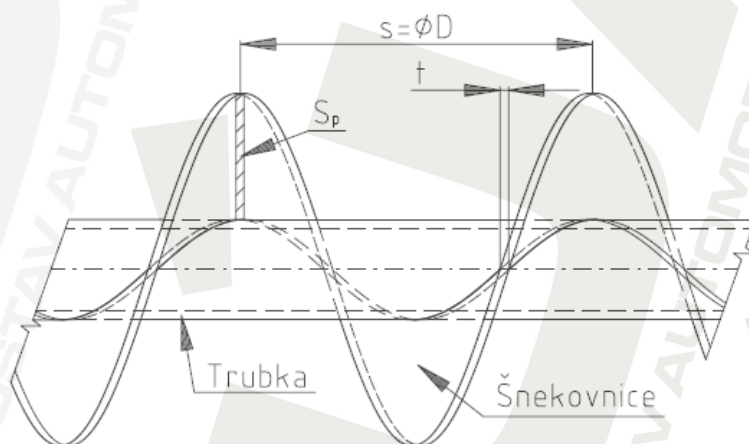


Obr. 5 Vnitřní úhel φ

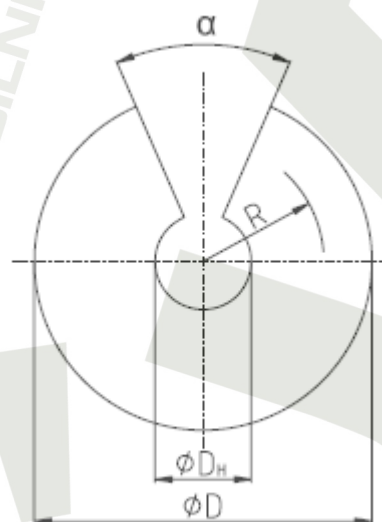
7. Hmotnost šneku

Skládá se:

- z ocelové bezešvé trubky viz obr. 6
- ze šnekovnice (plechu), která je navařena na trubce po jednotlivých závitech viz obr. 7



Obr. 6 Šnek



Obr. 7 Šnekovnice – 1 závit

7.1 Ocelová trubka

$$D_H = 57 \text{ mm}$$

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

Hmotnost jednoho metru délky – $m = 6,41 \text{ kg/m}$ dle lit. [9] str. 218.

Celková hmotnost bezešvé trubky

$$m_t = L \cdot m = 30 \cdot 6,41 \quad (7.1)$$

$$m_t = 192 \text{ kg}$$

7.2 Šnekovnice

$$t = 0,005 \text{ m}$$

$$D_H = 0,057 \text{ m}$$

$$D = 0,2 \text{ m}$$

Podle Guldinovy věty zavádím tyto výpočty:

Výpočet plochy, která vznikne radiálním řezem dílce

$$S_p = \frac{D - D_H}{2} \cdot t = \frac{0,2 - 0,057}{2} \cdot 0,005 \quad (7.2)$$

$$S_p = 3,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Poloměr kružnice mezikruží

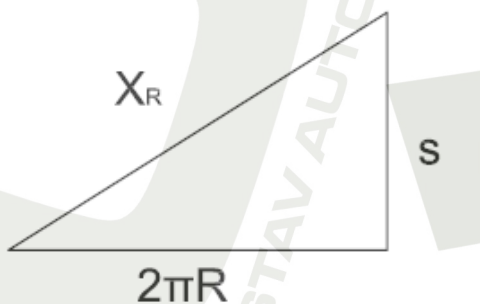
$$R = \frac{D + D_H}{2} = \frac{0,2 + 0,057}{2} \quad (7.3)$$

$$R = 0,1285 \text{ m}$$

Dráha těžiště po roztažení jednoho segmentu na délku stoupání s

$$X_R = \sqrt{(2 \cdot \pi \cdot R)^2 + s^2} = \sqrt{(2 \cdot \pi \cdot 0,1285)^2 + 0,2^2} \quad (7.4)$$

$$X_R = 0,83 \text{ m}$$



Obr. 8 Dráha těžiště

Objem jednoho segmentu

$$V_1 = S_p \cdot X_R = 3,60 \cdot 10^{-4} \cdot 0,83 \quad (7.5)$$

$$V_1 = \underline{3,00 \cdot 10^{-4} m^3}$$

Počet segmentů na celém šneku

$$x = \frac{L}{s} = \frac{30}{0,2} \quad (7.6)$$

$$x = \underline{150 ks}$$

Objem celé šnekovnice

$$V = V_1 \cdot x = 3,00 \cdot 10^{-4} \cdot 150 \quad (7.7)$$

$$V = \underline{0,045 m^3}$$

Hmotnost šnekovnice

$$m_s = V \cdot \rho_{(ocel)} = 0,045 \cdot 7850 \quad (7.8)$$

$$m_s = \underline{355 kg}$$

$$\rho_{(ocel)} = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} - \text{dle lit. [] str.}$$

7.3 Celková hmotnost šneku (trubka a šnekovnice)

$$m = m_T + m_s = 192 + 355$$

$$m = 547 \text{ kg} \approx \underline{550 kg}$$

Z výše uvedeného výpočtu plyne, že byla zanedbána hmotnost kluzných ložisek, spojovacího materiálu, vlastního svarového spoje mezi trubkou a šnekovnicí a dalších technologicko - výrobních náležitostí. Dle konzultace s výrobcem zařízení je hmotnost navýšena o 10% na **600 kg**.

8. Výpočet hřídele šneku

8.1 Určení výsledných vnitřních účinků (VVU)

Hřídel šnekového dopravníku je uložen na dvou valivých a sedmi kluzných ložiskách. Kluzná ložiska jsou navržena z důvodů průhybu hřídele při větších délkách a využití výhody rozměrové geometrie kluzného ložiska vůči valivému. Tímto tento navržený způsob uložení lze řešit jako staticky neurčitou. Tedy i analyticky pracně počitatelná, ne však neřešitelná. Je možno analyticky řešit pomocí třímomentové věty (Clypeyronova věta). Protože ale tato metoda výpočtu nosníku o více podporách není obsahem učiva bakalářského stupně studia, jsou v této kapitole použity již odvozené vztahy pro tuto řešenou soustavu. Použité rovnice jsou použity z literatury [3]. Dále jsou v plné výši uplatněny poznatky získané při studiu a literatury [6, 7].

Základní vstupní hodnoty dané výpočtem výše:

$F_m = 425$	N	(motor – str. 11)	$m = 600$	kg
$F_p = 770$	N	(převodovka – str. 12)	$a = 0,2$	m
$F_A = 5550$	N	(str. 13)	$b = 0,18$	m
$F_T = 2530$	N	(str. 15)	$c - k = 4$	m
$M_k = 400$	Nm	(str. 13)	$l = 2,5$	m

$$F_{mp} = F_m + F_p = 425 + 770 \quad (8.1)$$

$$F_{mp} = 1195 \text{ N} \approx \underline{1200 \text{ N}}$$

$$M_o = F_m \cdot a = 425 \cdot 0,2 \quad (8.2)$$

$$M_o = \underline{85 \text{ Nm}}$$

$$q = \frac{m \cdot g}{L} = \frac{600 \cdot 9,81}{30} \quad (8.3)$$

$$q \approx \underline{200 \text{ N / m}}$$

Úplné uvolnění hřídele (prutu)

Prut je k základnímu rámu vázán jednou rotační (vazba C) a osmi obecnými vazbami (vazby D, E, G, H, I, J, K a L). Pro úplné uvolnění prutu je potřebné určit počet nezávislých parametrů (NP). Nezávislé parametry v našem případě jsou následující:

$$NP = \{F_{Cx}, F_{Cy}, F_{Dy}, F_{Ey}, F_{Gy}, F_{Hy}, F_{Iy}, F_{Jy}, F_{Ky}, F_{Ly}\} \rightarrow \mu = 10$$

Silová soustava působící na uvolněný prut jest rovinou obecnou.

Tímto je možno stanovit parametr $v = 2 + 1$ [$\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$, $\Sigma M_z = 0$] za podmínek statické rovnováhy.

Odtud lze stanovit parametr $s = \mu - v = 10 - 3 = 7$

Prut je uložen 7x staticky neurčitě.

$$\sum F_x = 0 : \quad (8.4)$$

$$F_A + F_T - F_{Cx} = 0 \Rightarrow$$

$$F_{Cx} = F_A + F_T$$

$$\sum F_y = 0 : \quad (8.5)$$

$$-F_{mp} + F_{Cy} + F_{Dy} + F_{Ey} + F_{Gy} + F_{Hy} + F_{Iy} + F_{Jy} + F_{Ky} + F_{Ly} - \\ -q \cdot (b+c+d+e+g+h+i+j+k) = 0$$

$$\sum M_{zc} = 0 : \quad (8.6)$$

$$M_o + F_{mp} \cdot b + F_{Dy} \cdot c + F_{Ey} \cdot (c+d) + F_{Gy} \cdot (c+d+e) + F_{Hy} \cdot (c+d+e+g) + \\ + F_{Iy} \cdot (c+d+e+g+h) + F_{Jy} \cdot (c+d+e+g+h+i) + F_{Ky} \cdot (c+d+e+g+h+i+j) + \\ + F_{Ly} \cdot (c+d+e+g+h+i+j+k) = 0$$

V následném výpočtu a uvolnění nebudu uvažovat zatížení nosníku vlivem axiálních sil F_A a F_T . Je splněna podmínka $\sum F_x = 0$.

První část nosníku

Platí pro část hřídele vystupující ze žlabu do převodovky, tedy mezi body B a C

$$\sum F_y = 0 :$$

$$-F_{mp} + R_{Cy} = 0 \Rightarrow$$

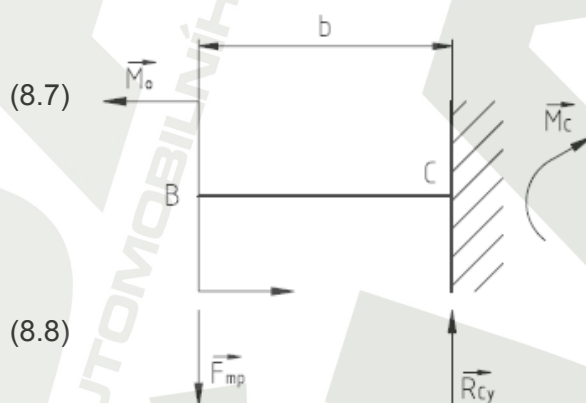
$$R_{Cy} = F_{mp} = \underline{1200 \text{ N}}$$

$$\sum M_{zc} = 0 :$$

$$M_o - M_C + F_{mp} \cdot b = 0 \Rightarrow$$

$$M_C = M_o + F_{mp} \cdot b = 85 + 1200 \cdot 0,18$$

$$M_C = \underline{305 \text{ Nm}}$$



Obr. 9 První náhradní nosník

Druhá část nosníku

Platí pro sedm identických úseků mezi kluznými ložisky, tedy pro body C až bod K

$$R_{Gy} = R_{Hy} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot g = \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot 4 \quad (8.9)$$

$$R_{Gy} = R_{Hy} = 400 \text{ N}$$

$$M_G = -\frac{1}{12} \cdot q \cdot g^2 = -\frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 4^2 \quad (8.10)$$

$$M_G = -270 \text{ Nm}$$

$$M_H = \frac{1}{12} \cdot q \cdot g^2 = \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 4^2 \quad (8.11)$$

$$M_H = 270 \text{ Nm}$$

Osový kvadratický moment

$$I_x = \frac{\pi}{64} (D_H^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} (0,057^4 - 0,047^4) \quad (8.12)$$

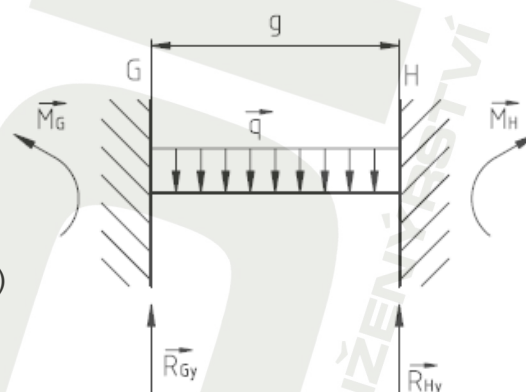
$$I_x = 2,79 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

Maximální průhyb

$$y_{\max 2} = \frac{q \cdot g^4}{384 \cdot E \cdot I_x} = \frac{200 \cdot 4^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 2,79 \cdot 10^{-7}} \quad (8.13)$$

$$y_{\max 2} = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Největší průhyb $y_{\max 2}$ je uprostřed mezi vetknutím.



Obr. 10 Druhý náhradní nosník

Třetí část nosníku

Platí pro koncovou část šneku, čili mezi posledním kluzným ložiskem a radiálním ložiskem. V grafickém znázornění mezi body K a L.

$$R_{Ky} = \frac{5}{8} \cdot q \cdot k = \frac{5}{8} \cdot 200 \cdot 2,5 \quad (8.14)$$

$$R_{Ky} = \underline{313 \text{ N}}$$

$$F_{Ly} = \frac{3}{8} \cdot q \cdot k = \frac{3}{8} \cdot 200 \cdot 2,5 \quad (8.15)$$

$$F_{Ly} = \underline{188 \text{ N}}$$

$$M_{Ko} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot k^2 = \frac{1}{8} \cdot 200 \cdot 2,5^2 \quad (8.16)$$

$$M_{Ko} = \underline{157 \text{ Nm}}$$

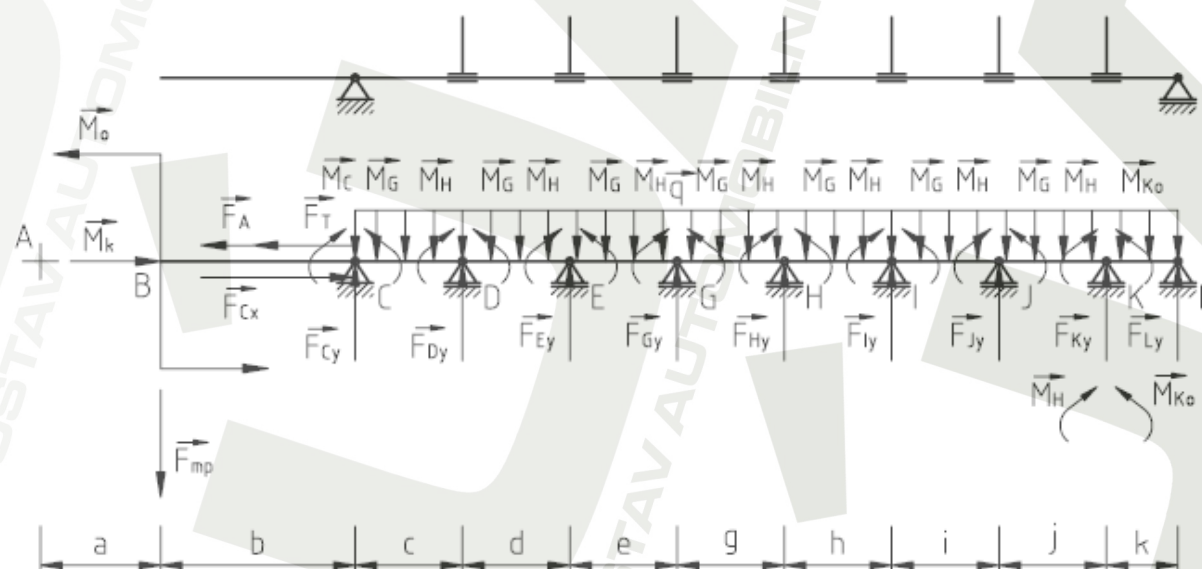
Maximální průhyb

$$y_{\max 3} = 0,0054 \frac{q \cdot k^4}{E \cdot I_x} = 0,0054 \cdot \frac{200 \cdot 2,5^4}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 2,79 \cdot 10^{-7}} \quad (8.17)$$

$$y_{\max 3} = \underline{7,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}}$$

Maximální hodnota průhybu $y_{\max 3}$ leží v délce 0,422 k od bodu L.

Součet sil – skutečné reakce a momenty v podporách



Obr. 12 Schéma zavěšení šneku, úplné uvolnění

Bod C

$$M_{oC} = M_C - M_G = 301 - 270 \quad (8.18)$$

$$M_{oC} = \underline{31 Nm}$$

$$F_{Cy} = R_{Cy} + R_{Gy} = 1200 + 400 \quad (8.19)$$

$$F_{Cy} = \underline{1600 N}$$

Body D až J

$$M_{oDEGHIJ} = M_H - M_G = 270 - 270 \quad (8.20)$$

$$M_{oDEGHIJ} = \underline{0 Nm}$$

$$F_{yDEGHIJ} = R_{Hy} + R_{Gy} = 400 + 400 \quad (8.21)$$

$$F_{yDEGHIJ} = \underline{800 N}$$

Bod K

$$M_{oK} = M_H - M_{Ko} = 270 - 157 \quad (8.22)$$

$$M_{oK} = \underline{113 Nm}$$

$$F_{yK} = R_{Hy} + R_{Ky} = 400 + 313 \quad (8.23)$$

$$F_{yK} = \underline{713 N}$$

8.2 Kontrola na statické namáhání

Ohybové napětí

$$M_{oK} = M_{o \max} = \underline{157 \cdot 10^3 Nmm} \quad (8.24)$$

Z předešlého výpočtu vyplývá, že největší ohybové napětí působí v bodě K.

Modul průřezu v ohybu

$$W_o = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_H^4 - d^4}{D_H} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{57^4 - 47^4}{57} \quad (8.25)$$

$$W_o = \underline{9776 mm^3}$$

Napětí v ohybu

$$\sigma_o = \frac{M_{o \max}}{W_o} = \frac{157 \cdot 10^3}{9776} \quad (8.26)$$

$$\sigma_o = \underline{16 \text{ MPa}}$$

Modul průřezu v krutu

$$W_k = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D_H^4 - d^4}{D_H} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{57^4 - 47^4}{57} \quad (8.27)$$

$$W_k = \underline{19554 \text{ mm}^3}$$

Napětí v krutu

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{400 \cdot 10^3}{19554} \quad (8.28)$$

$$\tau_k = \underline{20,5 \text{ MPa}}$$

Napětí v tahu

$$\sigma_T = \frac{F}{S} = \frac{8080}{816} \quad (8.29)$$

$$\sigma_T = \underline{10 \text{ MPa}}$$

$$F = F_A + F_T = 5550 + 2530 \quad (8.30)$$

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot (D_H^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (57^2 - 47^2) \quad (8.31)$$

$$S = \underline{816 \text{ mm}^2}$$

Redukované napětí

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sigma_o + \sigma_T)^2 + 3 \cdot \tau_k^2} = \sqrt{(16 + 10)^2 + 3 \cdot 20,5^2} \quad (8.32)$$

$$\sigma_{red} = \underline{44 \text{ MPa}}$$

Bezpečnost statického namáhání

$$k = \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{333}{44} \quad (8.33)$$

$$k = \underline{7,6}$$

Zvolil jsem materiál pro bezešvou trubku 11 523 mez kluzu $Re_{\min} = 333 \text{ MPa}$, mez pevnosti $R_m = 520 - 628 \text{ MPa}$ dle lit. [12].

8.3 Kontrola na dynamické namáhání (únavová pevnost)

Dle lit. [15]

Součinitel povrchu

$$k_A = a \cdot Rm^B = 57,7 \cdot 520^{-0,718} \quad (8.34)$$

$$k_A = 0,647$$

a = 57,7 dle lit. [15] pro materiál tvářený za tepla

B = -0,718 dle lit. [15] pro materiál tvářený za tepla

Součinitel velikosti

$$k_B = 1,51 \cdot D_H^{-0,157} = 1,51 \cdot 57^{-0,157} \quad (8.35)$$

$$k_B = 0,8$$

Součinitel zatížení

$$k_C = 1 \quad \text{krut + ohyb} \quad (8.36)$$

$$k_{CT} = 0,85 \quad \text{tah, tlak}$$

Mez únavy

Mez únavy oceli

Mez únavy vzorku

$$\text{Ohyb - } \sigma_{CO} = 0,5 \cdot Rm \quad \sigma_{CO} = 0,5 \cdot 520 = \underline{260 \text{ MPa}} \quad (8.37)$$

$$\text{Krut - } \tau_C = 0,29 \cdot Rm \quad \tau_C = 0,29 \cdot 520 = \underline{151 \text{ MPa}} \quad (8.38)$$

$$\text{Tah - } \sigma_C = 0,45 \cdot Rm \quad \sigma_C = 0,45 \cdot 520 = \underline{234 \text{ MPa}} \quad (8.39)$$

Mez únavy skutečné součásti

$$\sigma_{COs} = k_A \cdot k_B \cdot k_C \cdot \sigma_{CO} = 0,647 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 260 \quad (8.40)$$

$$\sigma_{COs} = \underline{135 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{Cs} = k_A \cdot k_B \cdot k_C \cdot \tau_C = 0,647 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 151 \quad (8.41)$$

$$\tau_{Cs} = \underline{78 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{Cs} = k_A \cdot k_B \cdot k_C \cdot \sigma_C = 0,647 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 234 \quad (8.42)$$

$$\sigma_{Cs} = \underline{103 \text{ MPa}}$$

Bezpečnost dynamického namáhání

Ohyb

$$k_{\sigma\sigma} = \frac{\sigma_{C\sigma\sigma}}{\sigma_o} = \frac{135}{16} \quad (8.43)$$

$$k_{\sigma\sigma} = \underline{8,5}$$

Krut

$$k_{\tau} = \frac{\tau_{Cs}}{\tau_k} = \frac{78}{20,5} \quad (8.44)$$

$$k_{\tau} = \underline{3,8}$$

Tah

$$k_{\sigma T} = \frac{\sigma_{Cs}}{\sigma_T} = \frac{103}{10} \quad (8.45)$$

$$k_{\sigma T} = \underline{10,3}$$

Celková bezpečnost

$$k_D = \frac{k_{\sigma} \cdot k_{\tau}}{\sqrt{k_{\sigma}^2 + k_{\tau}^2}} = \frac{26,3 \cdot 3,8}{\sqrt{26,3^2 + 3,8^2}} \quad (8.46)$$

$$k_D = \underline{3,8}$$

$$k_{\sigma} = k_{\sigma\sigma} + k_{\sigma T} = 16 + 10,3 \quad (8.47)$$

$$k_{\sigma} = \underline{26,3}$$

Kritické otáčky

$$\omega_k = \sqrt{\frac{g}{y_{\max 2}}} = \sqrt{\frac{9,81}{2,3 \cdot 10^{-3}}} \quad (8.48)$$

$$\omega_k = \underline{65,3 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}}$$

$$\omega_k = 2 \cdot \pi \cdot n_k \Rightarrow$$

$$n_k = \frac{\omega_k}{2 \cdot \pi} = \frac{65,3}{2 \cdot \pi} \quad (8.49)$$

$$n_k = \underline{10,4 \text{ s}^{-1}}$$

$$n_s \notin \langle 0,8 - 1,2 \rangle \cdot n_k \quad (8.50)$$

$$n_s \notin \langle 8,3 - 12,5 \rangle$$

Otáčky šneku jsou $n_s = 2,18 \text{ s}^{-1}$, podmínka je **splněna**.

Torzní tuhost

$$\vartheta = \frac{M_k}{G \cdot I_p} = \frac{400 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^4 \cdot 557271,4} \quad (8.51)$$

$$\vartheta = 8,97 \cdot 10^{-6} \text{ rad}$$

$$I_p = \frac{\pi}{32} \cdot (D_H^4 - d^4) = \frac{\pi}{32} \cdot (57^4 - 47^4) \quad (8.52)$$

$$I_p = 557271,4 \text{ mm}^4$$

$$\varphi_{DOV} = \left(\frac{1^\circ}{4} \right) \text{ na 1 metr délky} \quad (8.53)$$

$$\varphi_{DOV} = 4,37 \cdot 10^{-3} \text{ rad / m}$$

$$\vartheta_{DOV} = \varphi_{DOV} \cdot L = 4,37 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \quad (8.54)$$

$$\vartheta_{DOV} = 0,131 \text{ rad}$$

$$\vartheta < \vartheta_{DOV}$$

Pružná deformace hřídele šneku **nepřekročí** dovolenou mez.

8.4 Výpočet kolíkového spoje

Smyk kolíku

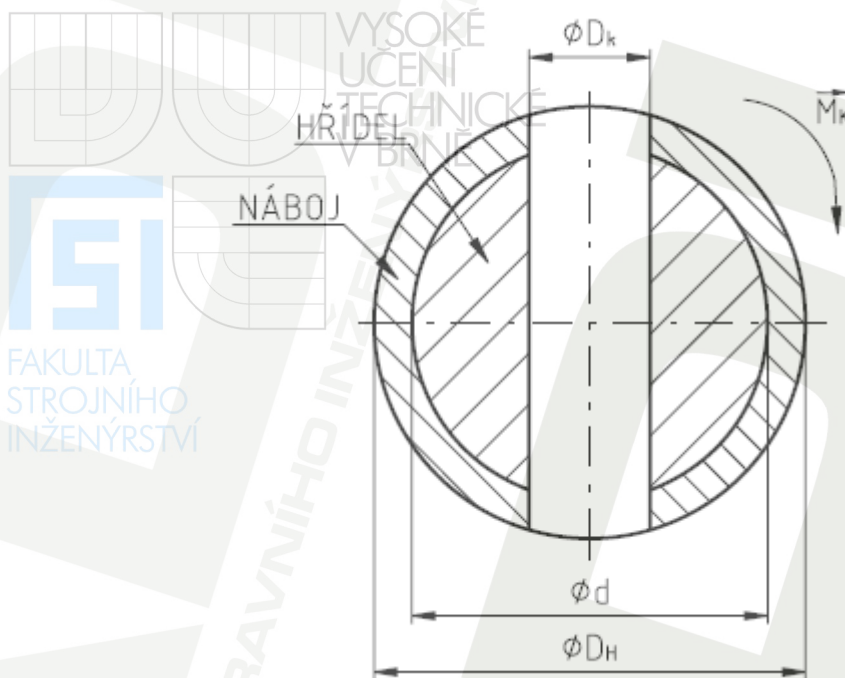
$$\tau_s = \frac{F}{2 \cdot S} = \frac{4 \cdot M_k}{\pi \cdot D_k^2 \cdot D_H} = \frac{4 \cdot 400 \cdot 10^3}{\pi \cdot 16^2 \cdot 57} \quad (8.55)$$

$$\tau_s = 35 \text{ MPa}$$

$$\tau_s \leq \tau_{SD}$$

Materiál kolíku 11 600, střídavé zatížení dle lit. [13] str. 253.

$$\tau_{SD} = 45 \text{ MPa} , p_D = 70 \text{ MPa}$$



Obr. 13 Kolíkový spoj

Kontrola na otláčení kolíku

Tlak na hřídeli

$$p_{1\max} \approx \frac{6 \cdot M_k}{D_k \cdot d^2} = \frac{6 \cdot 400 \cdot 10^3}{16 \cdot 47^2} \quad (8.56)$$

$$p_{1\max} = \underline{68 \text{ MPa}}$$

$$p_{1\max} \leq p_D$$

Tlak v náboji

$$p_{2\max} \approx \frac{4 \cdot M_k}{D_k \cdot (D_H^2 - d^2)} = \frac{4 \cdot 400 \cdot 10^3}{16 \cdot (57^2 - 47^2)}$$

$$p_{2\max} = \underline{96 \text{ MPa}}$$

$$p_{2\max} > p_D$$

Protože tlak v náboji vyšel větší než p_D volím dva kolíky posunuty o 90° . Na čepu převodovky jsem navrhl tři kolíky pootočený o 120° , protože uvažuji většího zatížení na začátek hřídele vpádem materiálu do žlabu.

9. Návrh ložisek

9.1 Ložisko v bodu C

Axiální soudečkové ložisko s válcovou dírou SKF dle lit. [14]
Označení 29 412E

$$F_r = 1600 \text{ N}$$

$$F_a = F_A + F_T = 5550 + 2530 = 8080 \text{ N}$$

$$C = 345\,000 \text{ N}$$

$$C_0 = 915\,000 \text{ N}$$

Dynamické ekvivalentní zatížení pro $F_r \leq 0,55F_a$

$$P_e = F_a + 1,2 \cdot F_r = 8080 + 1,2 \cdot 1600 \quad (9.1)$$

$$P_e = \underline{10000 \text{ N}}$$

Základní trvanlivost ložiska

$$L_h = \left(\frac{C}{P_e} \right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_{skut.}} = \left(\frac{345000}{10000} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 131} \quad (9.2)$$

$$L_h = \underline{5224380 \text{ hodin}}$$

Ložisko **vyhovuje** i pro velmi těžký provoz.

9.2 Ložisko v bodu K

Pro bod K jsem zvolil kuličkové ložisko zvané Y – ložisko od firmy SKF dle lit. [14]
Označení ložiska je YSA 211-2FK + H2311

$$F_r = 188 \text{ N} \approx 200 \text{ N}$$

$$F_a = 0 \text{ N}$$

$$C = 43\,600 \text{ N}$$

$$C_0 = 29\,000 \text{ N}$$

Určení dynamického ekvivalentu zatížení ložiska

$$P_e = X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 1 \cdot 200 + 0 \cdot 0 \quad (9.3)$$

$$P_e = \underline{200 \text{ N}}$$

Volba koeficientu X a Y

$$X = 1, Y = 0$$

(9.6)

Základní trvanlivost ložiska

$$L_h = \left(\frac{C}{P_e} \right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_{skut.}} = \left(\frac{43600}{200} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 131} \quad (9.7)$$

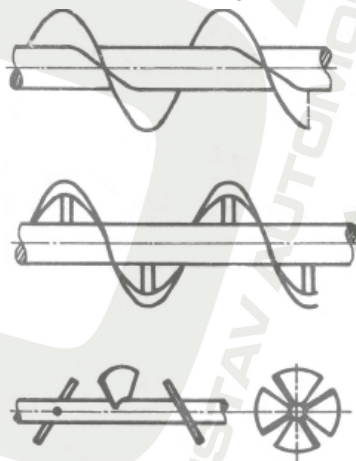
$$L_h = 1318095680 \text{ hodin}$$

U zvoleného ložiska vyšla základní trvanlivost poměrně velká. Navržené ložisko se vyznačuje malými rozměry domečku, do kterého se to instaluje a další výhodou je nižší pořizovací cena, než jiných alternativ (ložiskových domečků).

10. Části šnekového dopravníku

10.1 Šnek

Šnek je podstatnou částí dopravníku. Z velké části určuje vlastnosti dopravníku. Hřídel šneku přenáší kroutící moment od vlastního pohonu až na šnekovnici. Hřídel, která dopravuje materiál na vzdálenost třiceti metrů je rozdělena na osm dílů. Z toho sedm dílů je o délce 4 metry a jeden díl o délce 2,5 metru. Při menších dopravovaných délkách bývá hřídel z plného materiálu většinou kruhového průřezu, někdy i čtvercového průřezu. Při větších dopravních vzdálenostech (můj případ) se hřídel konstruuje z tlustostěnné ocelové trubky spojena čepy se zámkami pro přenos kroutícího momentu v závěsných ložiscích. Vybral jsem bezešvou trubku dle lit. [] str. Vnější průměr trubky je 57 mm a tloušťka stěny je 5 mm. Toto aplikované řešení se vyznačuje při nízké hmotnosti značnou ohybovou tuhostí. Na hřídel jsou přivařeny jednotlivé segmenty šnekovnice, která je vyrobena svařováním z jednotlivých segmentů plechu o tloušťce 5 mm. Tyto segmenty jsou v jednom místě radiálně odděleny a technologicky ohnuty na velikost stoupání, které je rovno průměru šnekovnice.



Obr. 14 Druhy šnekovnic, shora: plná, obvodová, lopatková

Někdy se může konstruovat šnek s kuželovou šnekovnicí, která se používá pro speciální účely. Jejich použití je účelné při dopravě materiálu, který je choulostivý na stlačení. V případech, kdy dopravovaný materiál nesmí dojít do styku s ocelí, zhotovuje se šnekovnice z plastu nebo mědi a hřídel se povlakuje podobným materiálem. Dále jsou šneky vícechodé, které jsou vhodné pro šikmé šnekové dopravníky dopravující velmi sypké materiály, neboť zabraňují zpětnému chodu materiálu. Dále může být šnekovnice konstruována s pravotočivým nebo levotočivým stoupáním. Kombinace pravotočivého a levotočivého stoupání se uplatňuje při návrhu dvou protisměrných pohybů dopravovaného materiálu v témže žlabu. V této práci je navržena plná šnekovnice, protože je nejvýhodnější pro dopravu vápenného hydrátu. Šnek je levotočivý a výstupní otvor je situován pod vlastním šnekem na dně žlabu. Z hlediska uložení jsou hřídele uloženy v předním a zadním čele žlabu ve valivých ložiskách. Přední ložisko zachycuje vzniklou axiální sílu. Aby nedocházelo k nadstandardnímu průhybu hřídele, je v návrhu maximální osová vzdálenost 4 metry mezi ložisky. Někdy se šnek ukládá vůči ose žlabu excentricky. Tím je dosaženo efektu, že se mezera mezi šnekovnicí a žlabem ve směru otáčení postupně zvětšuje a zamezuje se drcení dopravovaného materiálu. Toto je vhodné pro dopravu zrnitých materiálu, zejména vhodné v zemědělství. Osa šneku bude ležet v ose žlabu, protože vápenný hydrát je v práškovém stavu a je nepravděpodobné, že dojde k drcení.

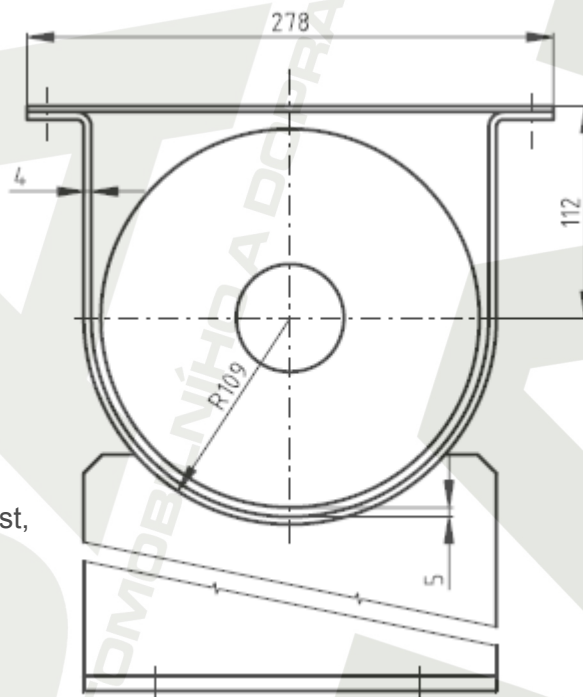
10.2 Žlab

Velikost žlabu závisí na velikosti šneku a dopravovaném materiálu. Žlab tvoří nosnou část dopravníku. Má tvar písmene U (dnes je také používán žlab tzv. trubkový). Žlab je zhotoven z plechu o tloušťce 4 mm. Horní okraje jsou vyhnuty ven, tím dosáhneme větší tuhosti žlabu a zároveň se na ně připevní víko žlabu.

Minimální vůle mezi šnekem a žlabem bývá 5 až 10 mm a je určena výrobními tolerancemi a druhem dopravovaného materiálu. Pro dopravu vápenného hydrátu jsem zvolil minimální vůli 5 mm.

Podobně jako šneky jsou žlaby sestaveny do potřebné délky ze sekcí. Díly jsou navzájem spojeny při montáži. Na jeho koncích žlabu je opatřen čely.

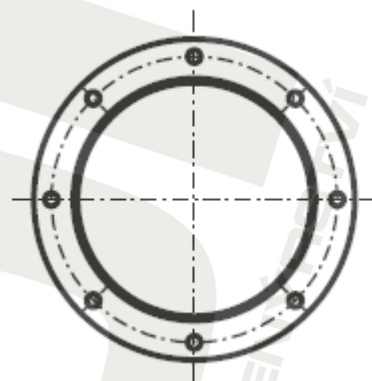
Při montáži je důležité dodržet jejich přímoučarost, což je nezbytné pro následné uložení šneku.



Obr. 15 Konstrukce žlabu dopravníku

10.3 Vstup a výstup z dopravníku

Dle zadání je navržen jeden vstup a jeden výstup. Dle následného budoucího dispozičního uspořádání lze vstupní a výstupní dispozice modifikovat. Dopravovaný materiál se do žlabu přivádí shora otvorem ve víku. Dávkování by mělo být rovnoměrné a vždy musí být umístěno mimo závěsy ložisek a spojů mezi víky žlabu. Vstup a výstup je situován na víko, respektive výstup na dno žlabu. Obě hrdla jsou navržena s přírubovým spojením na potrubí. Před vstupem je uvažováno s instalací hradítka na místní a dálkové ovládání. Tímto uzavíracím a regulačním členem lze pomocí nadřazeného systému regulovat dopravní množství, popřípadě distribuovat dle celkové koncepce systému.



Obr. 16 Profil vpádu a výpadu

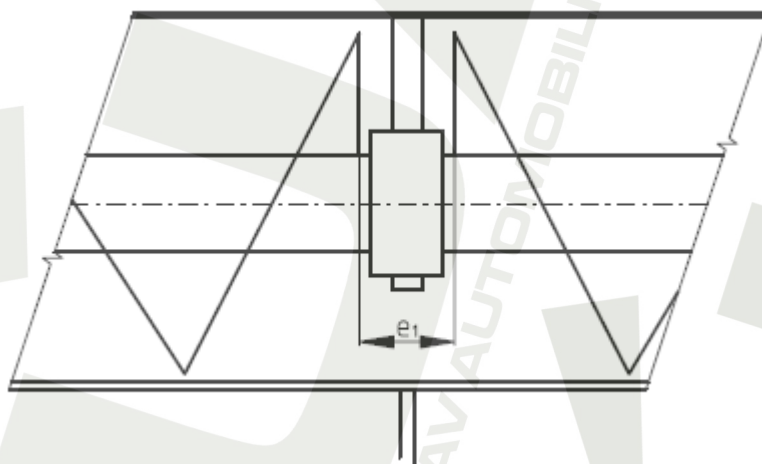
10.4 Závěsná ložiska

Protože je navrhován šnekový dopravník o dopravní délce 30m, nelze šnek nejen dispozičně namontovat ale i z důvodů průhybu vlastního hřídele instalovat v jednom kusu. Na základě konzultace je navržený šnek rozdělen pomocí závěsných ložisek na 8 částí, které jsou spojeny čepy a závěsnými kluznými ložisky lit. [14] se žlabem šneku. A tímto tvoří jeden celek.

Nemá – li se v místech spojů a uložení šneků porušit plynulost pohybu materiálu, musí šnekovnice spojovacích dílců ne sebe navazovat a mezera e_1 mezi nimi má být co nejmenší.

Jednotlivé části šneku jsou spojeny čepy s konstrukční uhlíkové oceli, na které jsou uložena jednotlivá ložiska uchycená prostřednictvím konzol ke skříni. Potíže jsou s utěsněním závěsných ložisek v praxi. Utěsnění je navrženo těsnícím guferem s prachovkou.

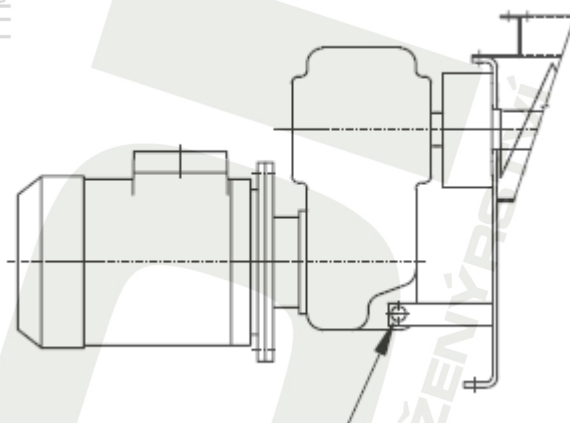
Mazání ložiska je navrženo pomocí maznice ve víku, které je propojeno vyvrtanými otvory do mazacích drážek. Proti pronikání dopravovaného materiálu je navrženo těsnící gufero s prachovkou.



Obr. 17 Spojování šneků – závěsné ložisko

10.5 Přichycení pohonné jednotky

Pohonná jednotka skládající se z elektromotoru a mechanické převodovky je závěsně uložena na čelní desku dopravníku přes závěsné oko převodovky. Výhodou této koncepce je jednoduché integrované řešení celé pohonné jednotky spolu s dopravníkem, což představuje nižší náklady. Dále není nutno konstruovat, vyrobit a montovat spojku a spodní rám, na kterém by byl elektromotor upevněn. Tato dispozice umožňuje pohledné, návrhové, levné uspořádání a v celkové koncepci lehký integrovaný dopravník.



Obr. 18 Uložení pohonné jednotky

V neposlední řadě je také nutno uvést jednodušší montáž a instalaci na staveništi, kdy odpadají problémy spojené s dodržením souososti hřídele převodovky a vlastního šneku. Nevýhodou tohoto uspořádání je přímé zatížení čelního ložiska hmotností převodovky a motoru. Nicméně výše uvedená síla je proti ostatním silám vznikajícím za provozu zanedbatelná.

Při návrhu byla zvolena převodovka, vhodná pro tuto aplikaci, firmy TOS Znojmo. Výrobce již standardně dodává tuto převodovku s nálitkovým okem. Proti tlumení vibrací a momentovému pootočení je zavěšení provedeno pomocí silentbloku. Koncepce zavěšení pomocí silentbloku je v praxi velmi často používána.

10.6 Víko žlabu

Víko je sestaveno ze stejného počtu dílů jako žlab a šnek. Slouží k zakrytí dopravního žlabu jednak z bezpečnostního hlediska (úrazy rukou atd.) ale i z další jako utěsnění pracovního prostoru a vyztužení celého dopravníku.

Víko je opatřeno otvory pro šrouby na styku s dopravním žlabem, tělesy závěsných ložisek, konzolou a koncovým čelem. Před spojením víka se žlabem se nanese silikonové těsnění na lem žlabu.

10.7 Podpěrné patky

Patky jsou vyrobeny z ocelového plechu. Připevňují se na žlab při montáži ve vzdálenosti do 150 mm od závěsných ložisek. V dosedacích plochách jsou vyvrtány otvory, kterými je celý dopravník pevně uchycen k betonovému základu kotevními šrouby velikosti M16 x 105.

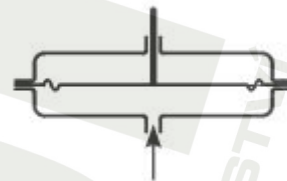
10.8 Spojky trubkového hřídele

Spojovací čepy jsou nasunuty přes zámky spojů a tím zaručují tuhost a souosost spojení. Spojovací čepy jsou navrženy z konstrukční uhlíkové oceli 11 500. Čepy jsou zalícovány a proti pootočení zajištěny kolíky v trubce. Na každé straně je montován jeden pár, páry jsou pootočené o 90° radiálně, v axiálním řezu tvoří kříž. Na výstupu z převodovky jsou navrženy tři kolíky posunuté po 120°. Kolíky jsou zajištěny závlačkou proti vypadnutí z uložení.

10.9 Bezpečnostní zařízení

Bezpečnostní pojistné zařízení zabezpečuje stroj proti zničení v případě přetížení a zahlcení. K přetížení popřípadě zahlcení může dojít, jakmile není dopravovaný materiál dostatečně odváděn z dopravníku, nastane hromadění a slisování a dojde k selhání koncového bezpečnostního spínače dříve, než dojde k destrukci šneku nebo pohonné jednotky.

Pojistné zařízení je kruhová pružná membrána. Tato membrána přímo ovládá koncový spínač, který reaguje na nedovolený tlak rozpojením ovládacího okruhu pohonu.



Obr. 19 Membránový tlakoměr

11. Montáž dopravníku

Dopravník lze umístit na betonovou podlahu nebo na vhodnou ocelovou konstrukci. Při montáži je nutné zajistit dostatečný prostor pro montážní techniky a manipulaci s dílci dopravníku. Vyrovnání a přímota celého dopravníku zajišťuje tichý chod celého zařízení na prázdně.

11.1 Montážní plocha

Předpokládám montáž dopravníku na betonovou podlahu. Betonové patky musí být vyrovnané a vodorovné (kontrola vodováhou nebo laserem). Patky musí být konstruovány tak aby patřičné chvění dopravníku nepřeneslo na podlahu či okolní stroje.

11.2 Montáž žlabu

Před montáží žlabu je nutno zkontrolovat připravené části žlabu. Menší vrtulovitou žlabu je možné vyrovnat při vlastní montáži žlabů.

Žlaby se při montáži musí vyrovnat tak, aby byly v jedné přímce. Toho se dosáhne vypodkládáním spojů podložkami a vypodkládáním patek. Proto se patky nesmí ke stojanům přivařit, ale musí se sešroubovat.

Povolené úchytky přímoty žlabu ve směru vodorovném a svislém:

L do 10 m..... $\Delta = 3$ mm

L do 20 m..... $\Delta = 5$ mm

L do 70 m..... $\Delta = 7$ mm

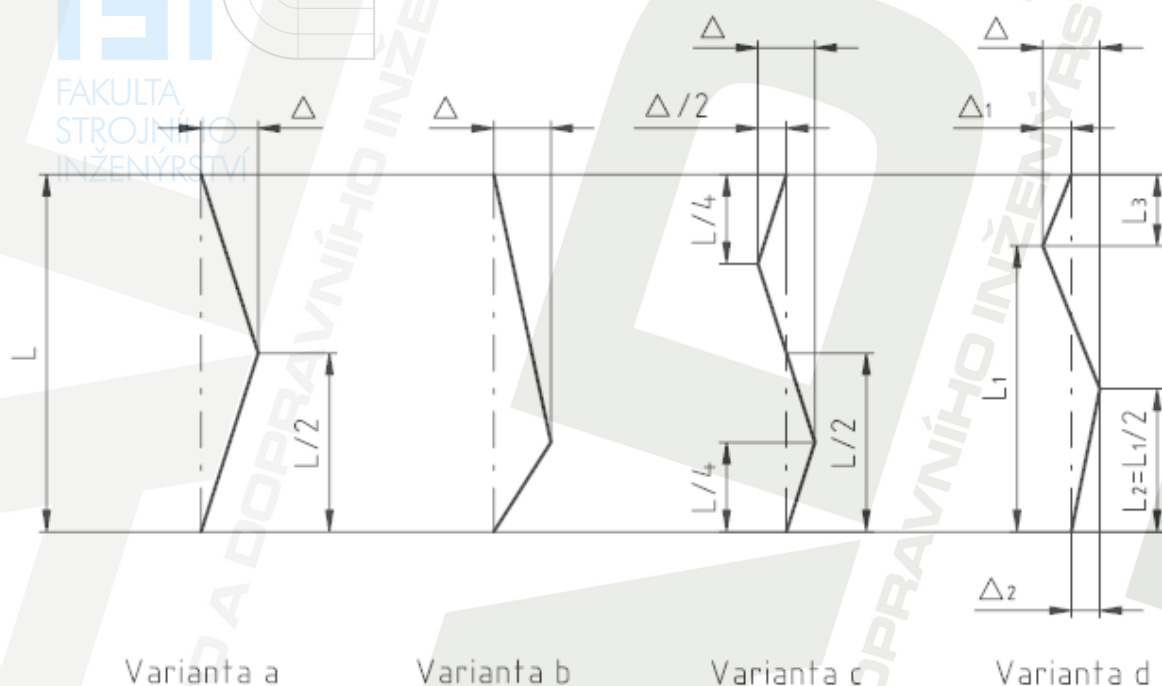
Povolená úchytky dvou sousedních žlabů je 1 mm.

Charakter přípustných úchylek je znázorněn na obr. 20. Povolené úchytky musí být plynulého rázu a maximální úchytky musí být v polovině délky obr. 20. Nesmí dojít k tomu, aby téměř celý transportér byl rovný a poslední žlab byl uhnutý o celou povolenou úchytku obr.20. U delších šnekových transportérů (od 15 m, tedy v mém případě) může dojít k tomu, že rozmístění úchylek přímoty je jako na obr. 20.

Musí platit následující podmínky:

- je-li bod A v $\frac{1}{2}$, platí $\Delta_1 = \Delta_2 = \frac{\Delta}{2}$, Δ_1 a Δ_2 leží v $\frac{1}{4}$

- je-li bod A mimo střed transportéru, platí $\Delta_1 + \Delta_2 = \Delta$, poměr Δ_1 a Δ_2 musí být stejný jak poměr vzdálenosti bodu A od příslušných konců dopravníku a Δ_1 , Δ_2 musí být v polovině daných úseků.



Obr. 20 Vyosení žlabu, zleva: a, c, d – přípustné varianty, b – chybná varianta

11.3 Montáž šnekových hřídelí a závěsných ložisek

Na spojkové čepy se nalisuje kluzné pouzdro. Dále zkompletujeme další díly závěsu ložiska.

Na takto připravený kus se nasadí na konce spojkového čepu šnekové hřídele, které se zajistí proti protočení kolíky se závlačkou.

Nezbytným předpokladem dobré funkce dopravníku je vyrovnaní závěsných ložisek s koncovými ložisky. Povolená úchylka je 4 mm a maximální úchylka sousedících hřídelí je 0,5 mm.

Na pracovní ploše šnekovnice a žlabu dochází k abrazi (obrušování činných ploch). Po dlouhodobém provozu se vůle mezi šnekem a žlabem zvětšuje a je zapotřebí přibližně dodržovat předepsanou mez. Nastavení vůle dosáhneme vertikálním nastavení závěsných ložisek pomocí upevňovacích šroubů.

11.4 Vymezení vůle axiálního ložiska

Je nutné vymežit vůli v axiálním ložisku, které se koná pomocí distančních kroužků. Musí být dodržena minimální vůle 1 mm, abychom předešli předepnutí kuličkového ložiska na konci žlabu.

11.5 Montáž vík

Na lem žlabu musí být nanесena dostatečná vrstva silikonového těsnění, aby nedošlo k prášení z dopravníku. Víka jsou ke žlabu připevněna pomocí šroubů. Před vlastním provozem, musí být víko vždy zajištěno minimálně dvěma šrouby proti vniknutí a zabránění úrazu člověka.

11.6 Montáž tlakoměru

Tlakoměr se umísťuje ve víku nad hranou koncového výpadu. Detektor je nutno seřídit na příslušný tlak tak, aby spínal už při malém prohnutí membrány. Funkce tlakoměru se přezkouší při vědomém přetížení dopravníku.

12. Uvedení do provozu a kontrola před předáním zařízení

Ve výrobě je nutno provést výstupní kontrolu provedení dílů podle výrobních výkresů. V místě instalace po skončení montáže provést za klidu stroje kontrolu správnosti provedené montáže, bezpečnostních opatření a správné funkce tlakoměru. Před prvním spuštěním zkontrolovat správný směr otáčení a při každém zásahu do elektroinstalace je nutné provést taktéž kontrolu směru otáčení při odkrytém víku.

Před zahájením provozu je nutno zkontrolovat:

- upevnění vík, závěsných ložisek, patek žlabů, koncového ložiska a silentbloku a konzoly zavěšení převodovky
- odstranit konzervační tuk, který by mohl přijít do styku s dopravovaným materiálem
- v případě delší odstávky dopravníku, odstranit všechen starý dopravovaný materiál z prostoru žlabu a šnekovnice, promazat závěsná ložiska a doplnit olej do převodovky.

Po uvedení do provozu při zatížení se provede kontrola:

- výkonu dopravníku
- těsnosti a dotažení spojů
- klidný chod
- polohy závěsných ložisek
- teploty ložisek, jejíž teplota by neměla být větší než 60°C
- provede se kontrola tlakoměru koncového spínače vědomým ucpáním výstupního otvoru

Šnekový dopravník je navržen jako prachotěsný a je povinností obsluhy udržovat je v takovém stavu, aby nebyl zdrojem prašnosti pro okolní prostředí. Při provozu všechny kryty a víka musí být řádně upevněny a těsnění udržováno v řádném stavu.

Je doporučeno provést provozní zkoušky smontovaného zařízení a zatíženého dopravníku v trvání minimálně 2 hodiny nepřetržitého provozu.

13. Údržba stroje

Údržba dopravníku spočívá pouze v kontrole čistoty, dostatečném dotažení šroubů, kontrole částí, které je potřeba mazat a neposlední řadě také vizuální kontrole celého transportního stroje.

13.1 Čelní převodovka

Mazání ozubených soukolí a ložisek je nezbytné pro zabezpečení spolehlivé funkce převodovky po celou dobu její životnosti. Vhodným mazáním se dosáhne vysoké účinnosti, podstatné omezení opotřebení a tichý chod. Převodovky TNC jsou standardně plněny kvalitním syntetickým olejem, který tvoří životnostní náplň. Skříně převodovek pak nemusí být opatřeny plnicími, kontrolními a vypouštěcími otvory. Informativní množství mazací náplně pro převodovku TNC 42 251 je přibližně 3 litry syntetického. Je možné i použít místo syntetického oleje minerální olej. Doporučené oleje najdete na internetových stránkách výrobce. Návod k použití a údaje o údržbě jsou dodávány spolu s výrobkem při koupi nebo lze také nalézt na internetových stránkách firmy TOS – ZNOJMO [17].

13.2 Mazání ložisek

Výrobce ložisek doporučuje použít pro mazání valivých ložisek plastické mazivo (biologicky odbouratelné plastické mazivo s nízkou škodlivostí) typu LGGB 2, které je vhodné pro zemědělské a lesnické zařízení ale především pro stavební a zemní stroje. Ložiska budou mazána a vizuálně kontrolována jedno za čtvrt roku.

Dále se do maznice plní plastické mazivo pro mazání kluzných ložisek. Mazací hlavice se doporučuje plnit mazivem typu LGHB 2. Jedná se o plastické mazivo s EP přísadami pro krátkodobé vysoké teploty. Doplnění mazacích hlavic doporučuji jednou za měsíc [14].

14. Závěr



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Tato bakalářská práce se zabývala konstrukcí šnekového dopravníku v rámci a oblastech daných zadáním.

Nejprve byl proveden kompletní výpočet zatížení hřídele šneku. Na základě tohoto výpočtu byly stanoveny síly do uložení a ložisek a dále maximální ohybový moment šneku.

Dále byl proveden návrh průměru šneku (ocelové trubky) a ložiska. Šnekovnice byla kontrolována z hlediska pružnosti a pevnosti jak staticky tak dynamicky.

Instalace na staveništi je možná po modulech a jejich následným spojením přes spojky v jeden funkční celek. Takto jsou většinou šnekové dopravníky montovány z důvodů manipulačních a dispozičních prostor.

Tato práce je velmi dobrou aplikací teoretických znalostí pružnosti a pevnosti k praktickému návrhu stroje a dále využitím standardních průmyslově vyráběných a dodávaných ložisek, elektromotoru a převodovky.

Nevýhodu rychlého opotřebení vlastního šneku je v této práci eliminována použitím spojek mezi jednotlivými díly šneku a tímto poměrně nenáročná výměna příslušného dílu šneku.

Dále je nutno při vlastní provozu i údržbě dbát bezpečnostních předpisů a ochrany zdraví. Neuvádět do provozu zařízení bez jednak bezpečnostních ale také přichycených protiprašných krytů.

Mezi nevýhody je dále uvést pouze možnou přímou dopravu, protože se jedná o pevný neohebný hřídel/ šnek. Nicméně tato nevýhoda je kompenzována použitím přesypů a jednoznačně tichým plynulým chodem při vlastní dopravě hydrátu.

Seznam použitých zdrojů

- [1] DRAŽAN, František; JEŘÁBEK, Karel. *Manipulace s materiálem*. Praha : SNTL/ALFA, 1979. 456 s. L13-C3-V-41/28515
- [2] KAŠPÁREK, Jaroslav. *Dopravní a manipulační zařízení*. Brno : Ústav dopravní techniky. 126 s.
- [3] ČERNOCH, Svatopluk. *Strojně technická příručka*. 12. přeprac. vyd. Praha : SNTL, 1968. 2 sv. (1184, 1228 s.). L13-E1-IV-51/22127/IX
- [4] DRAŽAN, František, et al. *Teorie a stavba dopravníků*. Praha : ČVUT, 1983. 290 s.
- [5] GAJDŮŠEK, Jaroslav; ŠKOPÁN, Miroslav. *Teorie dopravních a manipulačních zařízení*. Brno : VUT, 1988. 277 s.
- [6] JANÍČEK, Přemysl, et al. *Mechanika těles : Pružnost a pevnost I.* 3. přeprac. vyd. Brno: Cerm, 2004. 287 s. ISBN 80-214-2592-X.
- [7] FLORIAN, Zdenek; ONDRÁČEK, Emanuel; PŘIKRYL, Karel. *Mechanika těles : Statika*. 2. vyd. Brno: Cerm, 2007. 182 s. ISBN 978-80-214-3440-0.
- [8] ŘASA, Jaroslav; ŠVERCL, Josef. *Strojnické tabulky 1*. 1. vyd. Praha : Scientia, 2004. 753 s. ISBN 80-7183-312-6.
- [9] SVOBODA, Pavel; BRANDEJS, Jan; PROKEŠ, František. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. 1. vyd. Brno : Cerm, 2006. 223 s. ISBN 80-7204-465-6.
- [10] ČSN ISO 1050. *Zařízení pro plynulou dopravu : Šnekové dopravníky*. Praha : Český normalizační institut, 1993. 8 s.
- [11] Katalog firmy Siemens. *Nízkonapěťové motory : Trojfázové asynchronní motory nakrátko 1LA7, K02-0409 CZ* [online]. 2009 [cit. 28. 4. 2009]. Dostupné z : <<http://www1.siemens.cz/ad/current/file.php?fh=031908e542&aid=986967>>.
- [12] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 1. vyd. Úvaly : Albra, 2003. 865 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [13] BOLEK, Alfréd; KOCHMAN, Josef. *Části strojů : I. svazek*. 5. přeprac. vyd. Praha : SNTL, 1989. 775 s. L13-E1-IV-41f/22326
- [14] Ložiska. firma SKF, Dostupné z: <www.skf.cz>.
- [15] Elektronická přednáška 5KS [online]. Porušování při cyklickém zatěžování I. Dostupné z: <<https://www.vutbr.cz/elearning/file.php/79975/prednasky/prednaska2.pdf>>.
- [16] Has CZ a.s.: Šnekové dopravníky. [online]. [cit. 14.4.2009]. Dostupné z: <http://www.has.cz/kat/wamgroup-podavace-davkovace-snekove-dopravniky/wamgroup-vyrobní-program/snekove-dopravniky/ca-zlabove-snekove-dopravniky/?from_katalog=1|search|>>.
- [17] Čelní převodovka. firma TOS-Znojmo [online] Dostupné z: <<http://www.tos-znojmo.cz/produkce/tnc/cz/index.htm>>.

Seznam použitých symbolů

a	$[-]$	součinitel povrchu
A	$[m^2]$	uvažovaná plocha zaplnění žlabu
A_p	$[m^2]$	plné zaplnění žlabu
A_{sk}	$[m^2]$	skutečné zaplnění žlabu
B	$[-]$	součinitel
d	$[m]$	vnitřní průměr hřídele
D	$[m]$	průměr šneku
D_H	$[m]$	vnější průměr trubky šneku
D_K	$[m]$	průměr kolíku
D_z	$[m]$	poloměr vnitřní stěny žlabu
F_a	$[N]$	celková axiální síla
f	$[-]$	součinitel tření
F_A	$[N]$	radiální síla materiálu působící na šnek
F_{Cy}	$[N]$	výsledná reakce do bodu C
F_{Ly}	$[N]$	výsledná reakce do bodu L
F_m	$[N]$	síla od hmotnosti elektromotoru
F_N	$[N]$	síla od dopravovaného materiálu působící na žlab
F_p	$[N]$	síla od hmotnosti převodovky
$F_{yDEGHIJ}$	$[N]$	výsledné reakce v bodech D, E, G, H
F_T	$[N]$	axiální síla na šnek vzniklá třením materiálu o žlab
g	$[m/s^2]$	gravitační zrychlení
G	$[MPa]$	modul pružnosti ve smyku
c_H	$[-]$	součinitel snižující dopravní množství ke sklonu dopravníku
i	$[-]$	převodové číslo
I_o	$[mm^4]$	osový kvadratický moment
I_p	$[mm^4]$	polární moment
k	$[-]$	bezpečnost statického namáhání
k_A	$[-]$	koeficient povrchu
k_B	$[-]$	součinitel velikosti
k_C	$[-]$	koeficient krutu a ohybu
k_{CT}	$[-]$	koeficient tahu, tlaku
k_D	$[-]$	bezpečnost celková únavového lomu
k_σ	$[-]$	bezpečnost v ohybu
$k_{\sigma T}$	$[-]$	bezpečnost v tahu
k_T	$[-]$	bezpečnost v krutu
L	$[m]$	dopravní vzdálenost
L_h	$[h]$	trvanlivost ložiska
m	$[kg]$	celková hmotnost šneku
M_C	$[Nm]$	ohybový moment v bodě C v první náhradě
M_{C2}	$[Nm]$	ohybový moment v druhé náhradě
M_G	$[Nm]$	ohybový moment v druhé náhradě
M_H	$[Nm]$	ohybový moment v druhé náhradě
M_{K0}	$[Nm]$	ohybový moment v třetí náhradě
M_K	$[Nm]$	kroutící moment na hřídeli šneku
M_o	$[Nm]$	ohybový moment vzniklý přesunutím síla F_m
M_{oC}	$[Nm]$	výsledný ohybový moment v bodě C
$M_{ODEGHIJ}$	$[Nm]$	výsledné ohybové momenty v bodech O, D, E, G, H, I, J
M_{oK}	$[Nm]$	výsledný ohybový moment v bodě K
M_{omax}	$[Nm]$	maximální ohybový moment na celém hřídeli šneku
m_S	$[kg]$	hmotnost šnekovnice

m_T	[kg]	hmotnost hřídele šneku
m_t	[kg]	hmotnost hřídele (ocelové trubky)
n	[s ⁻¹]	otáčky
n_K	[s ⁻¹]	kritické otáčky
n_m	[s ⁻¹]	otáčky motoru
n_s	[s ⁻¹]	skutečné otáčky šneku
p_D	[MPa]	dovolený tlak v uložení kolíku
p_{1max}	[MPa]	tlak na hřídeli
p_{2max}	[MPa]	tlak v náboji
P_e	[N]	ekvivalentní dynamické zatížení
P	[W]	výkon motoru
Q	[kg/hod]	dopravní výkon
q	[N/m]	spojité zatížení
Q_v	[m ³ /h]	objemový dopravní výkon
R	[m]	poloměr těžiště šnekovnice
R_{Cy}	[N]	složka síly F_{Cy} v první náhradě
R_{Gy}	[N]	složka sil $F_{CDEGHIJy}$ v druhé náhradě
R_{Hy}	[N]	složka sil $F_{DEGHIJy}$ v druhé náhradě
R_k	[N]	složka síly F_{Ky} ve třetí náhradě
R_S	[m]	účinný poloměr šnekovnice
S	[m ²]	plocha mezikružní hřídele
s	[m]	stoupaní šneku, tj. délka roztažení segmentu
S_P	[m ²]	plocha vzniklá radiálním rozříznutím šnekovnice
t	[m]	tloušťka šnekovnice
t_H	[m]	tloušťka stěny trubky šneku
V	[m ³]	objem celé šnekovnice
V_1	[m ³]	objem jednoho segmentu
w	[-]	globální součinitel odporu
W_k	[mm ³]	modul průřezu v krutu
W_o	[mm ³]	modul průřezu v ohybu
X	[-]	koeficient
x	[-]	počet segmentu celého šneku
X_R	[m]	dráha T po roztažení jednoho segmentu na délku stoupaní S
Y	[-]	koeficient
y_{max}	[m]	maximální průhyb hřídele
α_1	[rad]	stoupaní šnekovnice
ζ	[rad]	torzní tuhost
ζ_{dov}	[rad]	dovolená torzní tuhost
ρ	[kg/m ³]	objemová hmotnost
σ_C	[MPa]	mez únavy vzorku v tahu
σ_{CO}	[MPa]	mez únavy vzorku v ohybu
σ_{cos}	[MPa]	mez únavy skutečné součásti v ohybu
σ_{CS}	[MPa]	mez únavy skutečné součásti v tahu
σ_o	[MPa]	napětí v ohybu
σ_{RED}	[MPa]	redukované napětí
σ_T	[MPa]	napětí v tahu
T_C	[MPa]	mez únavy vzorku v krutu
T_{CS}	[MPa]	mez únavy skutečné součásti v krutu
T_{DSO}	[MPa]	dovolené napětí ve smyku
T_K	[MPa]	napětí v krutu
T_S	[MPa]	napětí ve smyku
φ_1	[rad]	třecí úhel mezi materiálem a šnekem
v_{dov}	[°]	dovolený úhel zkroucení
ψ	[-]	součinitel plnění žlabu
ω_K	[rad/s ⁻¹]	kritické obvodová rychlost

Seznam příloh

Výsledné vnitřní účinky (VVU)

Seznam výkresové dokumentace

Výkres sestavení:	Šnekový dopravník	3P22-17.00-A	Ks 1
Výkres svařence:	Šnek 1	3P22-17.05-C	Ks1
	Šnek 2	3P22 17.04-C	Ks1
	Šnek 3	3P22 17.06-C	Ks1
Výkres součásti:	Hřídel 1	3P22-17.12-C	Ks1
	Hřídel 2	3P22-17.14-D	Ks1
	Hřídel 3	3P22-17.13-D	Ks1
Seznam položek:	Šnekový dopravník	3P22-17.00-E	Ks 5
Další přílohy:	CD – Bakalářská práce (pdf)		
	Výkresová dokumentace (pdf)		

