

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

# ŠNEKOVÝ DOPRAVNÍK PRO DOPRAVU CEMENTU

CEMENT WORM CONVEYOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

DAVID ŠULC

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. MIROSLAV ŠKOPÁN, CSc.



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): David Šulc

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 pro dopravu cementu**

v anglickém jazyce:

#### **Cement worm conveyor**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte vodorovný šnekový dopravník pro dopravu cementu. Proved'te funční výpočet, pevnostní kontrolu všech částí. Zpracujte základní konstrukční dokumentaci. Základní parametry:

dopravované množství	50 t/hod
dopravní délka	12 m

Cíle bakalářské práce:

Vypracujte technickou zprávu, která bude obsahovat zejména:

- koncepční návrh celého zařízení
- výpočet hlavních rozměrů, návrh pohonu
- pevnostní kontrola rozhodujících uzlů dle pokynů vedoucího práce

Nakreslete:

- sestavu navrhovaného zařízení
- podrobnou podsestavu uložení šnekové hřídele
- svařovací sestavu šnekovnice
- další výkresy dle pokynů vedoucího BP

Seznam odborné literatury:

1. POLÁK, J: Dopravní a manipulační zařízení II, VŠB TU Ostrava 2003, 80-248-0493-X
2. GAJDŮŠEK, J. - ŠKOPÁN, M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení. Skriptum VUT  
Brno 1988
3. Firemní literatura

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 8.11.2010

L.S.

---

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty



## Abstrakt

Tato bakalářská práce obsahuje návrh a konstrukční řešení šnekového dopravníku pro dopravu cementu, vycházející ze zadaných parametrů. Tato práce se zabývá výpočtem hlavních částí dopravníku, návrhem rozměrů a pevností kontrolou funkčních částí. Dále je zde také řešen způsob uložení šnekového hřídele. Bakalářská práce je složena z technické zprávy a výkresové dokumentace, která obsahuje celkový výkres sestavy, výkres sestavy šneku a seznam položek.

**Klíčová slova:** šnekový dopravník, šnek, žlab, cement, pohon.

## Abstract

This bachelor's thesis contains of a detail and design of a sloping cement worm conveyor, based on specified parameters. This work deals with the calculation of the main conveyor parts, design size and strength of the control sections. Then there is also a solution method of storing a worm shaft. The thesis is composed of technical reports and drawings, which includes general assembly drawings, assembly drawing of the screw, and a list of items.

**Key words:** worm conveyor, spiral worm, trough, cement, drive.

## **Bibliografická citace**

ŠULC, D. Šnekový dopravník pro dopravu cementu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 32 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miroslav Škopán, Csc.

# Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího doc. Ing. Miroslava Škopána Csc. a s použitím uvedené literatury.

V Brně dne 27. května 2011

.....  
David Šulc

## **Poděkování**

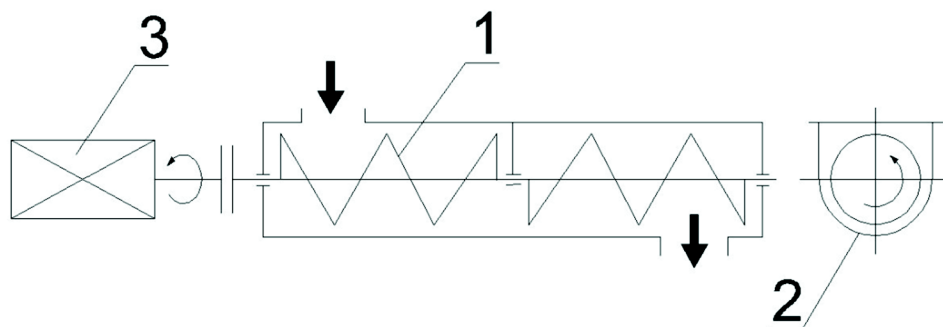
Chtěl bych poděkovat vedoucímu své bakalářské práce panu doc. Ing. Miroslavu Škopánovi Csc. za odbornou pomoc, udělení cenných rad a připomínek při tvorbě této práce. Dále děkuji své rodině za vytrvalou podporu při studiu na vysoké škole.

# Obsah

<b>1. Úvod</b>	<b>10</b>
1.1 Šnek	10
1.2 Žlab	10
1.3 Pohon	10
<b>2. Výpočet základních rozměrů</b>	<b>11</b>
2.1 Výpočet objemového dopravního výkonu	11
2.2 Výpočet průměru šnekovnice	11
2.3 Výpočet stoupání šnekovnice	12
<b>3. Výpočet pohonu</b>	<b>12</b>
3.1 Elektromotor	12
3.1.1 Minimální potřebný výkon	12
3.2 Převodovka	13
3.3 Spojka	14
<b>4. Kontrola objemového dopravního výkonu</b>	<b>14</b>
<b>5. Hmotnost šneku</b>	<b>15</b>
5.1 Hmotnost šnekového hřídele	15
5.2 Hmotnost šnekovnice	15
5.2.1 Poloměr mezikruží šnekovnice	15
5.2.2 Délka šnekovnice na jednom stoupání šnekovnice	15
5.2.3 Objem šnekovnice	16
5.2.4 Výpočet hmotnosti šnekovnice	16
5.3 Hmotnost čepu	17
5.4 Celková hmotnost šneku	17
<b>6. Návrh uložení šneku</b>	<b>18</b>
6.1 Koncové ložisko	18
6.1.1 Výpočet radiální síly	18
6.1.2 Volba koncového ložiska	18
6.2 Ložisko pohonu	19
6.2.1 Výpočet axiální síly	19
6.2.2 Volba ložiska pohonu	20
6.3 Kluzné ložisko	21
<b>7. Pevnostní kontrola</b>	<b>22</b>
7.1 Kontrola čepu	22
7.2 Kontrola vstupního hřídele	23
<b>8. Zatížení žlabu</b>	<b>25</b>
<b>9. Závěr</b>	<b>26</b>
<b>10. Seznam použité literatury</b>	<b>27</b>
<b>11. Seznam použitých symbolů</b>	<b>28</b>
<b>12. Seznam příloh</b>	<b>32</b>

## 1. Úvod

Šnekové dopravníky jsou určeny pro plynulou dopravu sypkých materiálů. Patří mezi dopravníky bez tažného elementu. Materiál je dopravován ve vodorovném i mírně šikmém směru. Princip tohoto dopravníku spočívá v tom, že dopravovaný materiál se pohybuje jako neotočná matice na pohybovém šroubu. Výhodou šnekového dopravníku je promíchávání dopravované látky během přepravy a především konstrukční jednoduchost celého zařízení.



Obr. 1 Schéma šnekového dopravníku

- 1 – šnek
- 2 – žlab
- 3 – pohon

### 1.1 Šnek

Šnek je hlavní částí šnekového dopravníku. Je tvořen bezešvou ocelovou trubkou a šnekovnicí, která se nejčastěji vyrábí v plném, obvodovém, či lopatkovém provedení. Plné šnekovnice jsou složeny z dílů, přičemž každý díl odpovídá jednomu závitů. Šnekovnice se k trubce přivařuje pomocí koutového svaru. Šnek bývá uložen ve žlabu excentricky, aby nedošlo k ucpávání dopravovaného materiálu.

### 1.2 Žlab

Žlab je konstrukce ve tvaru písmene “U“, která je složena z plechů o tloušťce 4 až 8 mm. Do žlabu se vkládá šnek, jenž je zavěšen na konzolích, připevněných k víku žlabu. Každá konzole obsahuje ložisko. Jedno z ložisek musí být axiální, aby bylo schopno zachytit axiální síly, které vznikají při provozu dopravníku.

### 1.3 Pohon

Pohonnou jednotku šnekového dopravníku tvoří elektromotor, převodovka a spojka.



## 2. Výpočet základních rozměrů

### 2.1 Výpočet objemového dopravního výkonu

$$Q_v = \frac{Q}{\gamma} = \frac{50000}{1200} = 41,67 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \quad (1)$$

Vztah (1) dle [1], str. 208

Dle [1], str. 209, tab. 9.1 :

- dopravovaný materiál..... cement
- součinitel plnění.....  $\psi = 0,3$
- otáčky šneku.....  $n = 2 \text{ s}^{-1}$

Dle [1], str. 210, tab. 9.2 :

- sypná objemová hmotnost.....  $\gamma = 1200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Dle zadání :

- dopravované množství.....  $Q = 50 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1} = 50000 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$

### 2.2 Výpočet průměru šnekovnice

Vycházím ze vztahu pro objemové dopravní množství :

$$Q = 3600 \cdot \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} \cdot S \cdot \psi \cdot n \cdot c_H \quad (2)$$

Vztah (2) dle [1], str. 208

$$\text{Dle [1], str. 208 :} \quad - \text{stoupání šnekovnice..... } S \approx 0,8 \cdot D_s \text{ [m]} \quad (3)$$

Z tohoto vztahu vyjádřím průměr šnekovnice  $D_s$  a do vztahu (4) dosadím vztah (3) :

$$D_s = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_v}{3600 \cdot \pi \cdot S \cdot \psi \cdot n \cdot c_H}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_v}{3600 \cdot \pi \cdot 0,8 \cdot D_s \cdot \psi \cdot n \cdot c_H}} = \sqrt[3]{\frac{Q_v}{720 \cdot \pi \cdot \psi \cdot n \cdot c_H}} \quad (4)$$

$$D_s = \sqrt[3]{\frac{41,67}{720 \cdot \pi \cdot 0,3 \cdot 2 \cdot 1}} = 0,313 \text{ m} \Rightarrow \text{Dle ČSN ISO 1050 volím } D_s = 0,32 \text{ m}$$

## 2.3 Výpočet stoupání šnekovnice

Dle [1], str. 208 :  $S \approx 0,8 \cdot D_g = 0,8 \cdot 0,32 = 0,256 \text{ m}$  (3)

Dle normalizované řady ČSN ISO 1050 volím  $S = 0,25 \text{ m}$   
Šnekovnice se bude vyrábět z plechu S235JR o tloušťce 4 mm.

## 3. Výpočet pohonu

### 3.1 Elektromotor

K volbě vhodného elektromotoru je nutno nejdříve zjistit výkon, který je potřebný k pohonu dopravníku.

#### 3.1.1 Minimální potřebný výkon

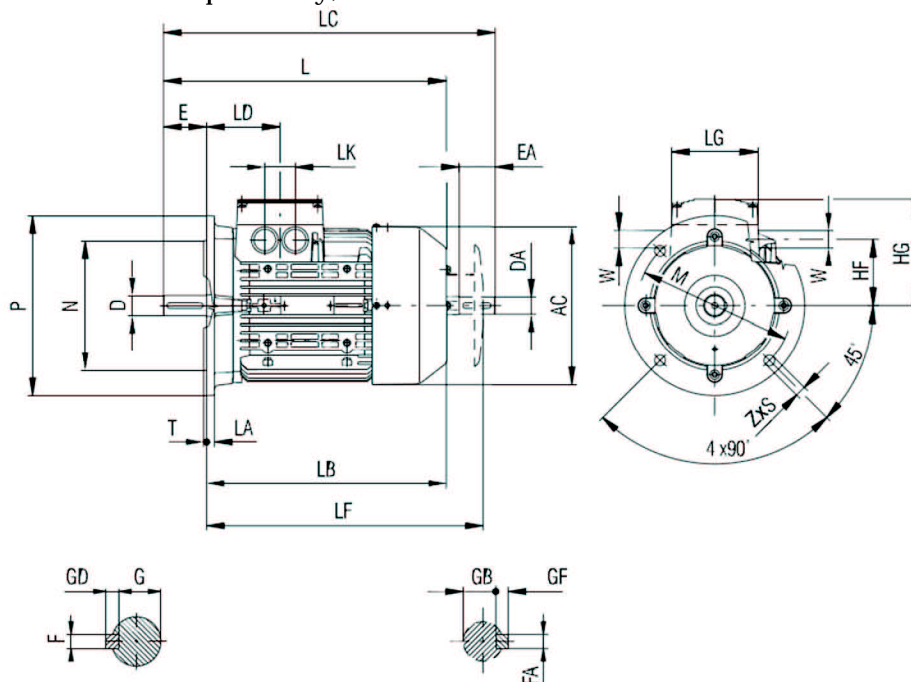
$$P_{\min} = \frac{Q \cdot g}{3600} \cdot (l \cdot w \pm h) = \frac{50000 \cdot 9,81}{3600} \cdot (12 \cdot 3 \pm 0) = 4905 \text{ W} \quad (5)$$

Vztah (5) dle [1], str. 209

Dle [1], str. 210, tab. 9.2: - celkový součinitel odporu pro cement.....  $w = 3,0$

K vypočtenému výkonu  $P_{\min}$  vyhledáme nejbližší vyšší výkon elektromotoru =>  
Volím třífázový, asynchronní, 4 pólový elektromotor SIEMENS [8]

Parametry elektromotoru: SIEMENS 1LA7 130-4AA60  
 $P = 5,5 \text{ kW}$ ,  $n_1 = 1455 \text{ min}^{-1} = 24,25 \text{ s}^{-1}$   
přírubový, tvar IM B 5



Obr. 2 Elektromotor SIEMENS [8]



Tab. 1 Rozměrové parametry elektromotoru SIEMENS [8]

Velikost	Velikost příruby	AC	HF	HG	L	LA	LB	LC	LD	LF	LG	LK	M	N
132S	FF265	259	107	167	454	12	374	552	128,5	426	140	42	265	230
P	S	T	W	D	DA	E	EA	F	FA	G	GB	GD	GF	Z
300	14,5	4	32,3	38	38	80	80	10	10	33	33	8	8	4

### 3.2 Převodovka

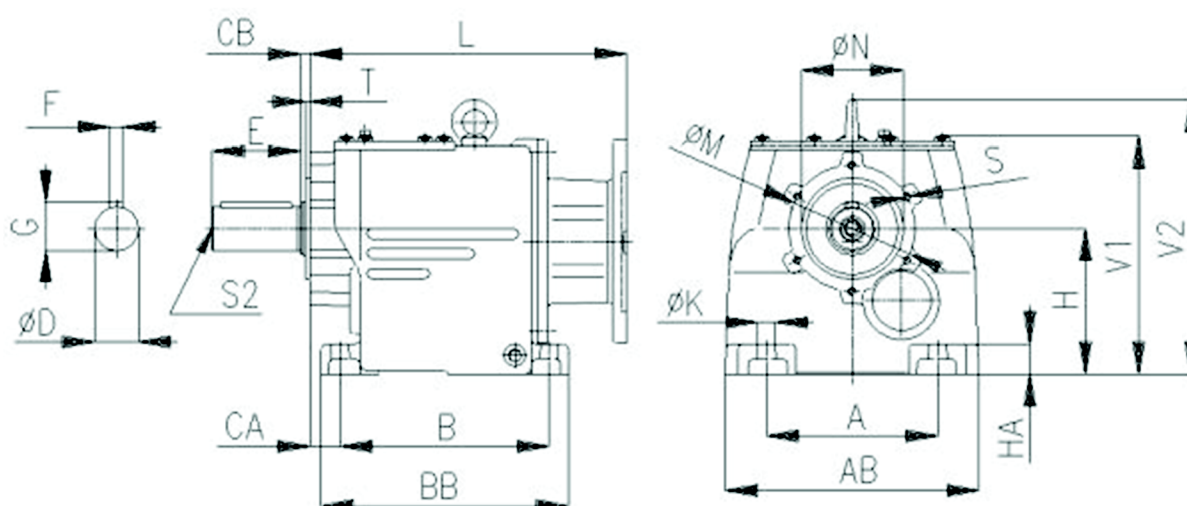
K navrženému elektromotoru SIEMENS volím čelní převodovku od firmy TOS ZNOJMO – MTC 62AB1780 [9]. Tohoto výrobce převodovek jsem zvolil kvůli vzájemnému propojení s výrobcem elektromotorů SIEMENS.

Parametry převodovky:

- převodový poměr  $i = 12,35$  [9]

- výstupní otáčky  $n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{1455}{12,35} = 117,81 \text{ min}^{-1} = 1,96 \text{ s}^{-1}$  (6)

- krouticí moment  $M_k = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot n_2} = \frac{5500}{2 \cdot \pi \cdot 1,96} = 446,6 \text{ N} \cdot \text{m}$  (7)



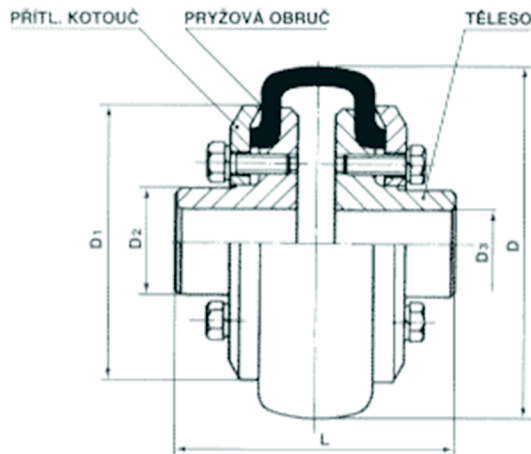
Obr. 3 Převodovka TOS ZNOJMO [9]

Tab. 2 Rozměrové parametry převodovky TOS ZNOJMO [9]

Velikost	A	AB	B	BB	CA	CB	Dk6	E	F	G	H
MTC62A	215	290	260	300	35	7,5	50	100	14	53,5	180
HA	K	L	M	Nj7	S	S2	T	V1	V2	J	Hmot. [kg]
35	17	315	165	130	M8x19	M16	3,5	295	334	14,85	58,0

### 3.3 Spojka

Volím spojku s pryžovou obručí SPO1 od firmy SIGAD [10]. Tato spojka tlumí nerovnoměrný průběh otáček při přenosu kroutícího momentu v libovolných polohách a umožňuje klidný chod. Tato spojka vylučuje přenos axiální síly.



Obr. 4 Schéma spojky s pryžovou obručí [10]



Obr. 5 Spojka s pryžovou obručí [10]

Tab. 3 Základní technické parametry spojky SPO1 SIGAD [10]

Typ	$M_{t1}$ N.m	$M_{t2}$ N.m	$n_{max}$ ot/min	$D_1$ mm	$D_2$ mm	$D_3 \text{ max}$ mm	L mm
250	630	1200	2000	200	96	45	220

## 4. Kontrola objemového dopravního výkonu

Když znám skutečné otáčky  $n_2 = 1,96 \text{ s}^{-1}$ , kterými se bude otáčet šnek ve žlabu, dosadím je do vztahu (2). Aby byla podmínka dopravního výkonu splněna, musí být skutečný dopravní výkon  $Q_{v \text{ sk}}$  stejný nebo o něco větší, než dopravní výkon teoretický  $Q_v$ .

$$Q_{v \text{ sk}} = 3600 \cdot \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} \cdot \psi \cdot S \cdot n_2 \cdot c_H = 3600 \cdot \frac{\pi \cdot 0,32^2}{4} \cdot 0,3 \cdot 0,25 \cdot 1,96 \cdot 1 \quad (8)$$

$$Q_{v \text{ sk}} = 42,59 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} > Q_v = 41,67 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \Rightarrow \text{podmínka je splněna}$$

## 5. Hmotnost šneku

### 5.1 Hmotnost šnekového hřídele

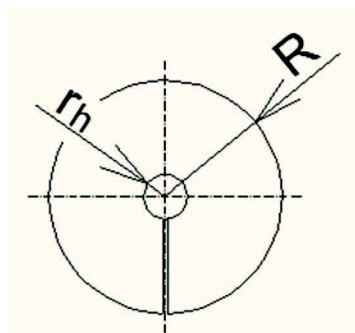
Šnekový hřídel bude bezešvá ocelová trubka o rozměrech  $\text{Ø}60,3 \times 6,3$  dle ČSN ISO 1050. Hřídel bude vyroben z materiálu 1.0308 (ekvivalent 11 353). Dle [6], str. 296, je hmotnost 1 m tohoto hřídele 8,39 kg. Šnek bude poskládán ze čtyř stejných dílů o celkové délce 12 m. Celková hmotnost hřídele tedy bude:

$$m_h = l \cdot m_1 = 12 \cdot 8,39 = 100,68 \text{ kg} \quad (9)$$

### 5.2 Hmotnost šnekovnice

K vypočtení objemu, díky kterému následně zjistím hmotnost jednoho závitu šnekovnice, potřebuji znát délku šnekovnice na jednom stoupání. Tuto délku vypočítám pomocí poloměru mezikruží šnekovnice a již vyčíslené hodnotě stoupání závitu.

#### 5.2.1 Poloměr mezikruží šnekovnice

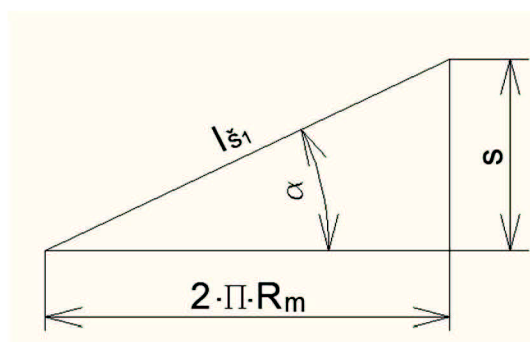


$$R_m = \frac{R+r_h}{2} = \frac{0,16+0,03015}{2} = 0,0951 \text{ m} \quad (10)$$

Poloměr šnekovnice..... $R = 0,16 \text{ m}$   
Poloměr šnekového hřídele..... $r_h = 0,03015 \text{ m}$

Obr. 6 Poloměry šnekovnice

#### 5.2.2 Délka šnekovnice na jednom stoupání závitu

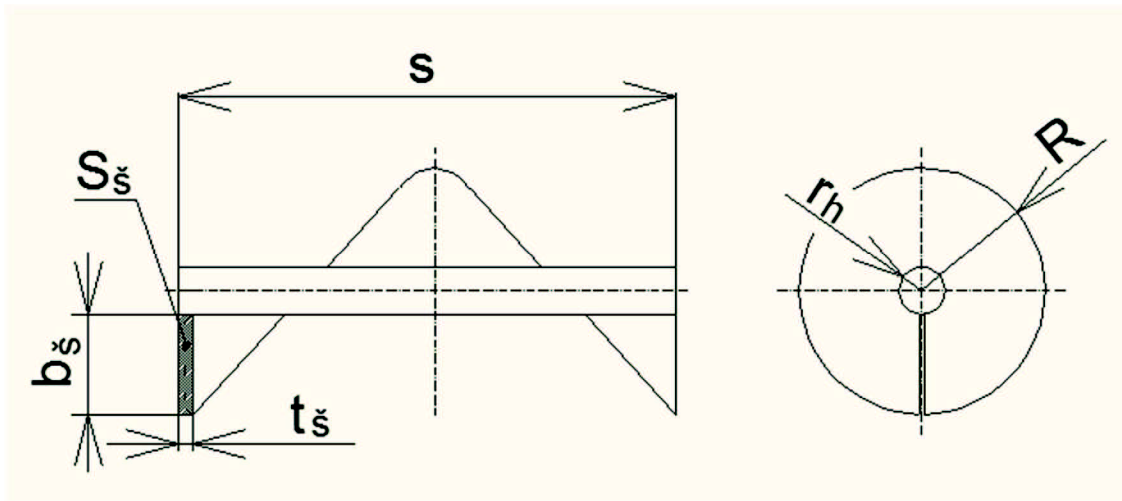


Obr. 7 Délka šnekovnice na jednom stoupání závitu

$$l_{s1} = \sqrt{s^2 + (2 \cdot \pi \cdot R_m)^2} = \sqrt{0,25^2 + (2 \cdot \pi \cdot 0,0951)^2} = 0,648 \text{ m} \quad (11)$$

### 5.2.3 Objem šnekovnice

Nyní už znám všechny potřebné rozměry a mohu vypočítat objem jednoho závitů šnekovnice.



Obr. 8 Schéma závitů šnekovnice na šnekovém hřídeli

- šířka příčného průřezu šnekovnice  $b_{\text{š}}$

$$b_{\text{š}} = R - r_h = 0,16 - 0,03015 = 0,12985 \text{ m} \quad (12)$$

- plocha příčného průřezu šnekovnice  $S_{\text{š}}$

$$S_{\text{š}} = b \cdot t_{\text{š}} = 0,12958 \cdot 0,004 = 0,0005194 \text{ m}^2 \quad (13)$$

- počet závitů šnekovnice

$$z = \frac{1}{s} = \frac{12}{0,25} = 48 \quad (14)$$

- celkový objem šnekovnice

$$V_{\text{š}} = S_{\text{š}} \cdot l_{\text{š1}} \cdot z = 0,0005194 \cdot 0,648 \cdot 48 = 0,0162 \text{ m}^3 \quad (15)$$

### 5.2.4 Výpočet hmotnosti šnekovnice

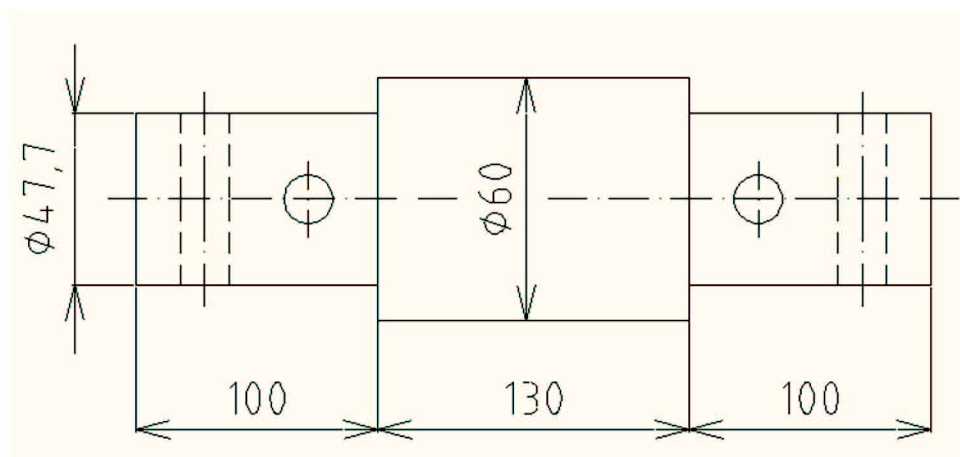
Výslednou hmotnost šnekovnice získám vynásobením celkového objemu šnekovnice hustotou pro ocel.

$$m_{\text{š}} = V_{\text{š}} \cdot \rho = 0,0162 \cdot 7850 = 127,17 \text{ kg} \quad (16)$$

Hustota oceli dle [15]  $\rho = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

### 5.3 Hmotnost čepu

Jednotlivé části šnekového hřídele budou spojeny čepy (viz Obr. 9). Na obou stranách je čep opatřen dvěma děrami pro čepy s hlavou. Tyto díry jsou vzájemně pootočené o 90°.



Obr. 9 Schéma čepu

- objem čepu

$$V_{\check{c}} = \left[ 2 \cdot \left( \frac{\pi \cdot 0,0477^2}{4} \right) \cdot 0,1 + \left( \frac{\pi \cdot 0,06^2}{4} \right) \cdot 0,13 \right] = 0,000724968 \text{ m}^3 \quad (17)$$

- hmotnost čepu

$$m_{\check{c}} = V_{\check{c}} \cdot \rho = 0,000724968 \cdot 7850 = 5,69 \text{ kg} \quad (18)$$

Hustota oceli dle [15]  $\rho = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

### 5.4 Celková hmotnost šneku

Celkovou hmotnost šneku vypočítám tak, že sečtu hmotnosti šnekového hřídele, šnekovnice, spojovacích čepů, kterých je celkem pět a hmotnosti ostatních součástí. Mezi tyto součásti patří ložiska a čepy s hlavou. Hmotnost těchto součástí jsem kompenzoval přičtením 15 kg k celkové hmotnosti šneku.

$$m_c = m_h + m_s + 5 \cdot m_{\check{c}} + m_0 = 100,68 + 127,17 + 5 \cdot 5,69 + 15 = 271,3 \text{ kg} \quad (19)$$

## 6. Návrh uložení šneku

### 6.1 Koncové ložisko

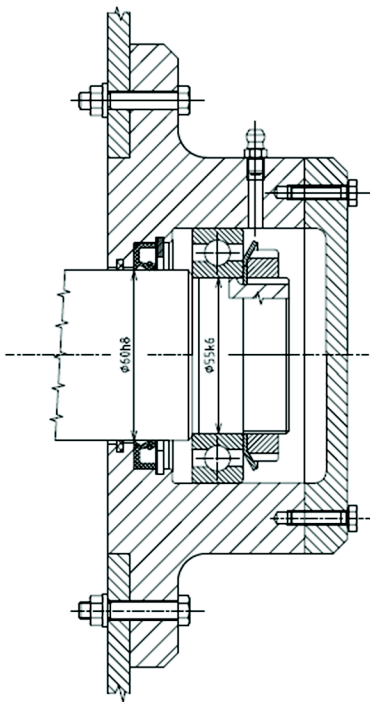
#### 6.1.1 Výpočet radiální síly

Radiální sílu získám z celkové hmotnosti. Tato síla musí být rovnoměrně rozložena mezi všechna ložiska.

$$F_R = \frac{m_c \cdot g}{n_L} = \frac{271,3 \cdot 9,81}{5} = 532,3 \text{ N} \quad (20)$$

#### 6.1.2 Volba koncového ložiska

Koncové ložisko bude radiální kuličkové jednořadé. Z důvodu možné dilatace materiálu, způsobené změnou teploty okolí, musí být ložisku umožněn posuvný pohyb ve směru osy hřídele. Ložisko je zabezpečeno pojistnou maticí se čtyřmi drážkami a pojistnou podložkou s přímým ozubem. Ložisko je utěsněno v ložiskovém domečku pomocí hřídelového těsnícího kroužku a plstěného těsnícího kroužku. Přívod maziva do ložiska je řešen pomocí tlakové maznice.



Volím **ložisko kuličkové jednořadé** firmy SKF 6011 dle [11]

Vypočtené hodnoty:

$$\begin{aligned} F_A &= 0 \text{ N} \\ F_R &= 532,3 \text{ N} \\ n_2 &= 117,81 \text{ min}^{-1} \end{aligned}$$

Hodnoty ložiska dle [11]:

$$\begin{aligned} C_1 &= 29600 \text{ N} \\ X_1 &= 1 \\ Y_1 &= 0 \\ p_1 &= 3 \end{aligned}$$

Obr. 10 Koncové ložisko

- dynamické ekvivalentní zatížení

$$P_1 = X_1 \cdot F_R + Y_1 \cdot F_A = 1 \cdot 532,3 + 0 \cdot 0 = 532,3 \text{ N} \quad (21)$$

Vztah (21) dle [11]

- trvanlivost ložiska

$$L_{h1} = \left(\frac{C_1}{P_1}\right)^{P_1} \cdot \left(\frac{10^6}{60 \cdot n_2}\right) = \left(\frac{29600}{532,3}\right)^3 \cdot \left(\frac{10^6}{60 \cdot 117,81}\right) = 24,3 \cdot 10^6 \text{ hod} \quad (22)$$

Vztah (22) dle [11]

## 6.2 Ložisko pohonu

### 6.2.1 Výpočet axiální síly

Axiální síla vzniká působením dopravovaného materiálu na šnek. Tato síla musí být zachycena axiálním ložiskem, které se nachází většinou na straně pohonu.

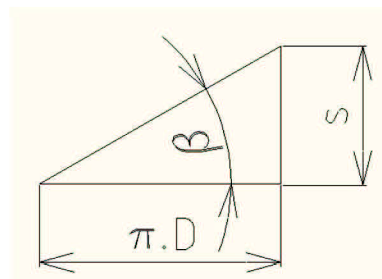
- účinný poloměr šnekovnice

$$R_s = (0,35 \text{ až } 0,4) \cdot D = 0,4 \cdot 0,32 = 0,128 \text{ m} \quad (23)$$

Vztah (23) dle [1]

- úhel stoupání šnekovnice

Znám-li stoupání šnekovnice a její jmenovitý průměr, pak mohu vypočítat úhel stoupání šnekovnice pomocí goniometrické funkce.



$$\tan \beta = \frac{s}{\pi \cdot D} = \frac{0,25}{\pi \cdot 0,32} = 0,2487 \quad (24)$$

$$\tan^{-1} \beta = 13^\circ 58' \quad (25)$$

Obr. 11 Úhel stoupání šnekovnice

Pro určení třecího úhlu mezi šnekem a dopravovaným materiálem potřebuji znát součinitele tření  $f_m$  pro ocel a cement.

$$\tan \varphi = f_m = 0,9 \rightarrow \tan^{-1} \varphi = 41^\circ 59' \quad (26)$$

$f_m = 0,9$  dle [14], tab. 8, str. 12

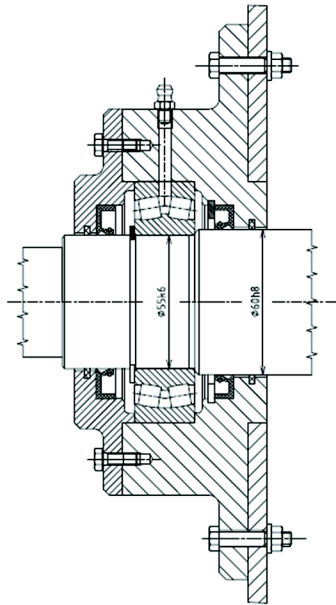
- axiální síla

$$F_A = \frac{M_K}{R_s \cdot \tan(\beta + \varphi)} = \frac{446,6}{0,128 \cdot \tan(13^\circ 58' + 41^\circ 59')} = 2358 \text{ N} \quad (27)$$

Vztah (27), dle [1], str. 210

### 6.2.2 Volba ložiska pohonu

Ložisko, umístěné na vstupním hřídeli (čepu), musí zachytit jak axiální, tak radiální zatížení. Volím proto soudečkové ložisko, které je schopné zachytit oba druhy zatížení. Konstrukční provedení ložiskového domečku a jeho víčka zabrání posunutí ložiska v axiálním směru. K utěsnění prostoru ložiska použiji hřídelový těsnicí kroužek a plstěný těsnicí kroužek. Tato těsnění se nacházejí jak na straně spojky, tak na straně šneku. Mazání ložiska bude zajištěno pomocí tlakové maznice.



Volím **dvouřadé soudečkové ložisko**  
SKF 22212 EK dle [12]

Vypočtené hodnoty:

$$\begin{aligned}F_A &= 2358 \text{ N} \\F_R &= 532,3 \text{ N} \\n_2 &= 117,81 \text{ min}^{-1}\end{aligned}$$

Hodnoty ložiska dle [12]:

$$\begin{aligned}e_2 &= 0,24 \\X_2 &= 0,67 \\Y_2 &= 4,2 \\p_2 &= 3,33 \\C_2 &= 156 \text{ kN}\end{aligned}$$

Obr. 12 Ložisko pohonu

- poměr axiální a radiální síly

$$\frac{F_A}{F_R} = \frac{2358}{532,3} = 4,32 > e_2 \quad (28)$$

Vztah (28) dle [12]

- dynamické ekvivalentní zatížení

$$P_2 = X_2 \cdot F_R + Y_2 \cdot F_A = 0,67 \cdot 532,3 + 4,2 \cdot 2358 = 10260 \text{ N} \quad (29)$$

Vztah (29) dle [12]

- trvanlivost ložiska

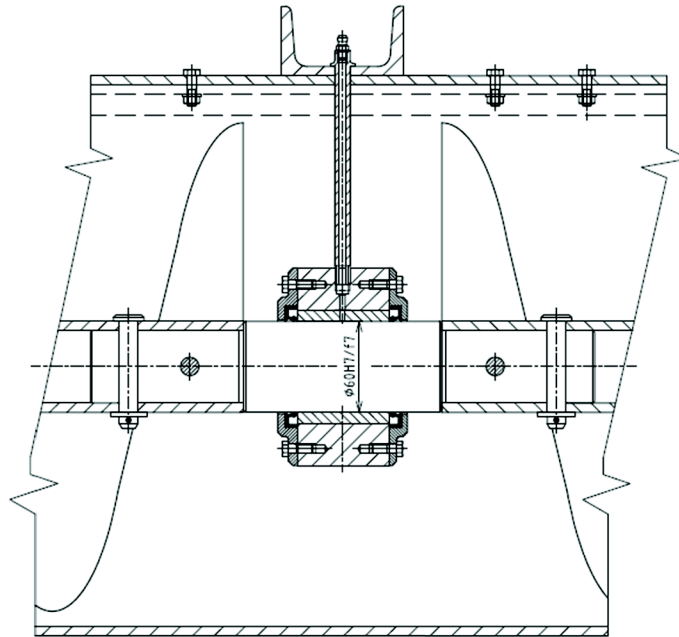
$$L_{h2} = \left(\frac{C_2}{P_2}\right)^{p_2} \cdot \left(\frac{10^6}{60 \cdot n_2}\right) = \left(\frac{156000}{10260}\right)^{3,33} \cdot \left(\frac{10^6}{60 \cdot 117,81}\right) = 12,2 \cdot 10^5 \text{ hod} \quad (30)$$

Vztah (29) dle [12]



### 6.3 Kluzné ložisko

Tato ložiska se budou nacházet na spojovacích čepích mezi jednotlivými díly šneku uvnitř dopravníku. Ložiska budou zatížena radiální silou a nalisována do ložiskových domečků. K utěsnění ložiskového prostoru slouží hřídelové těsnící kroužky, nacházející se ve víčkách po obou stranách ložiska. Všechny ložiskové domečky, obsahující kluzná ložiska, budou připevněny k nosníku tvaru "U" pomocí závrtných šroubů. Budou tedy výškově stavitelné. Mazání je řešeno přívodem maziva přímo pod ložisko pomocí tlakové maznice.



Obr. 13 Uložení kluzného ložiska

Volím **kluzné ložisko** SKF PBM 60 75 60 dle [13]

Vypočtené hodnoty:

$$F_R = 532,3 \text{ N}$$

Hodnoty ložiska dle [13]:

$$d_l = 0,06 \text{ m}$$

$$l_l = 0,06 \text{ m}$$

- kontrola na otláčení

$$p_l = \frac{F_R}{l_l \cdot d_l} = \frac{532,3}{0,06 \cdot 0,06} = 147861 \text{ Pa} = 0,147861 \text{ MPa} \quad (31)$$

$$p_l < p_{dl} = 20 \text{ MPa} \rightarrow \text{ložisko na otláčení vyhovuje}$$

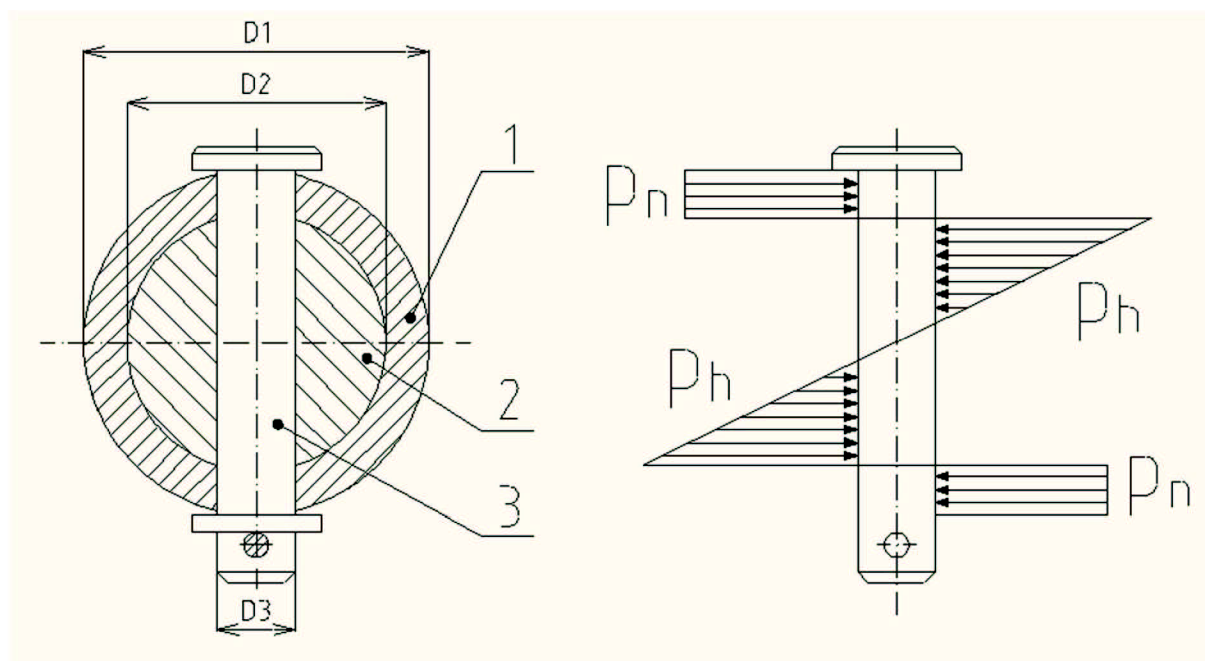
Dovolený tlak v ložisku  $p_{dl}$  dle [6], str. 54

## 7. Pevnostní kontrola

V této kapitole se kontrolují navržené části šnekového dopravníku. Pevnostní kontrola je zaměřena zejména na spoje šnekového hřídele, přenášející kroutící moment o velikosti  $M_k = 446,6 \text{ N} \cdot \text{m}$ , vystupujícího z převodovky.

### 7.1 Kontrola čepu

Jednotlivé části šneku jsou spojeny čepý (viz Obr. 9 a Obr. 13), kterými prochází na obou stranách dvojice čepů s hlavou. Tyto čepý jsou opatřeny podložkou a zajištěny závlačkou.



Obr. 14 Schéma spojení a průběh zatížení čepového spoje

- 1 – šnekový hřídel
- materiál 1.0308 (ekvivalent 11 353)
  - dovolené otláčení  $p_{Dn} = 115 \text{ MPa}$ ; dle [6], str. 52
  - dovolené napětí ve smyku  $\tau_{Dn} = 55 \text{ MPa}$ ; dle [6], str. 53
  - $D_1 = 0,0603 \text{ m}$
- 2 – spojovací čep
- materiál 1.0050 (ekvivalent 11 500)
  - dovolené otláčení  $p_{Dh} = 130 \text{ MPa}$ ; dle [6], str. 52
  - $D_2 = 0,0477 \text{ m}$
- 3 – čep s hlavou
- volím **Čep s hlavou 12 x 70 x 3,2 B ISO 2341 - St**
  - materiál 1.0060 (ekvivalent 11 600)
  - dovolené napětí ve smyku  $\tau_{Dč} = 70 \text{ MPa}$ ; dle [6], str. 53
  - $D_3 = 0,012 \text{ m}$

**- tlak v hřídeli ( spojovací čep )**

$$p_h = \frac{6 \cdot M_K}{D_2^2 \cdot D_3} = \frac{6 \cdot 446,6}{0,0477^2 \cdot 0,012} = 98,14 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 98,14 \text{ MPa} \quad (32)$$

$p_h < p_{Dh} = 130 \text{ MPa} \rightarrow$  spojovací čep na otlačení vyhovuje

Vztah (32) dle [4], str. 51

**- tlak v náboji**

$$p_n = \frac{4 \cdot M_K}{D_3 \cdot (D_1^2 - D_2^2)} = \frac{4 \cdot 446,6}{0,012 \cdot (0,0603^2 - 0,0477^2)} = 109,4 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 109,4 \text{ MPa} \quad (33)$$

$p_n < p_{Dn} = 115 \text{ MPa} \rightarrow$  šnekový hřídel na otlačení vyhovuje

Vztah (33) dle [4], str. 51

**- kontrola náboje na smyk**

$$\tau_n = \frac{M_K}{\frac{\pi \cdot (D_1^4 - D_2^4)}{16 \cdot D_1}} = \frac{446,6}{\frac{\pi \cdot (0,0603^4 - 0,0477^4)}{16 \cdot 0,0603}} = 17,05 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 17,05 \text{ MPa} \quad (34)$$

$\tau_n < \tau_{Dn} = 55 \text{ MPa} \rightarrow$  náboj na smyk vyhovuje

Vztah (34) dle [4], str. 51

**- kontrola čepu na smyk**

$$\tau_{\check{c}} = \frac{4 \cdot M_K}{\pi \cdot D_3^2 \cdot D_2 \cdot n_{\check{c}}} = \frac{4 \cdot 446,6}{\pi \cdot 0,012^2 \cdot 0,0477 \cdot 2} = 41,4 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 41,4 \text{ MPa} \quad (35)$$

$\tau_{\check{c}} < \tau_{D\check{c}} = 70 \text{ MPa} \rightarrow$  čep s hlavou na smyk vyhovuje

$n_{\check{c}} = 2 \dots$  počet čepů s hlavou

Vztah (35) dle [4], str. 51

## 7.2 Kontrola vstupního čepu

Nyní navrhnu a zkontroluji spojení náboje spojky s čepem (hřídelí) přenášejícím kroutící moment na šnek. Toto spojení provedu pomocí těsného pera.

Materiál čepu 1.0050 (ekvivalent 11 500); dle [6], str. 53,  $\tau_{DK} = 70 \text{ MPa}$

**- výpočet předběžného průměru čepu**

$$D'_{vs} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot \tau_{Dk}}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 446600}{\pi \cdot 70}} = 31,9 \text{ mm} \quad (36)$$

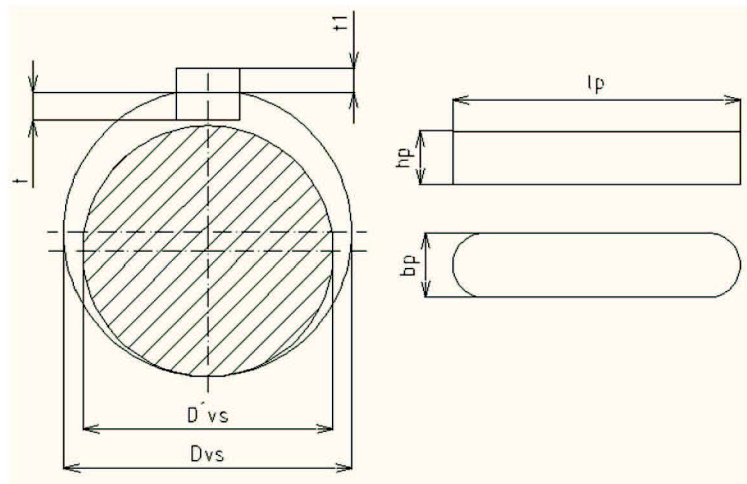
Vztah (36) dle [3], str. 24

**- výpočet skutečného průměru čepu**

Skutečný průměr čepu získám přičtením hloubky drážky v hřídeli k minimálnímu průměru čepu. Hloubka drážky v hřídeli pro průměr 31,9 mm dle [6], str. 463,  $t = 4,7 \text{ mm}$ .

$$D_{vs} = D'_{vs} + t = 31,9 + 4,7 = 36,6 \text{ mm} \quad (37)$$

Volím průměr čepu  $D_{vs} = 38 \text{ mm}$



Obr. 15 Drážka pro pero

**- výpočet délky pera**

Délku pera si vyjádřím ze vztahu pro otláčení (38)

$$p_{Dp} = \frac{2 \cdot M_k}{t_1 \cdot D_{vs} \cdot l_p} \Rightarrow l_p \quad (38)$$

Dle [6], str. 52,  $p_{Dp} = 135 \text{ MPa}$

Hloubka drážky v náboji dle [6], str. 463,  $t_1 = 3,3 \text{ mm}$

$$l_p = \frac{2 \cdot M_k}{t_1 \cdot D_{vs} \cdot p_{Dp}} = \frac{2 \cdot 446600}{3,3 \cdot 38 \cdot 135} = 52,76 \text{ mm} \quad (39)$$

Dle [6], str. 463, volím normalizovanou délku pera  $l_p = 63 \text{ mm}$  dle ČSN 02 2562

Nyní už znám všechny potřebné rozměry a proto dle [6], str. 463, volím:

PERO 10e7x8x63 ČSN 02 2562

Zbývá už jen zkontrolovat pero na otláčení a čep s drážkou pro pero na smyk.

#### - kontrola pera na otláčení

Zjištěné hodnoty dosadím do vztahu (38)

$$p_p = \frac{2 \cdot M_k}{t_1 \cdot D_{vs} \cdot l_p} = \frac{2 \cdot 446600}{3,3 \cdot 38 \cdot 63} = 113 \text{ MPa} \quad (38)$$

$p_p < p_{Dp} = 135 \text{ MPa} \rightarrow$  pero na otláčení vyhovuje

#### - kontrola čepu s drážkou pro pero na smyk

$$\tau_s = \frac{M_k}{\frac{\pi \cdot D_{vs}^3}{16} \cdot b_p \cdot t \cdot (D_{vs} - t)^2} = \frac{446,6}{\frac{\pi \cdot 0,038^3}{16} \cdot 0,01 \cdot 0,0047 \cdot (0,038 - 0,0047)^2} = 44,27 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 44,27 \text{ MPa} \quad (40)$$

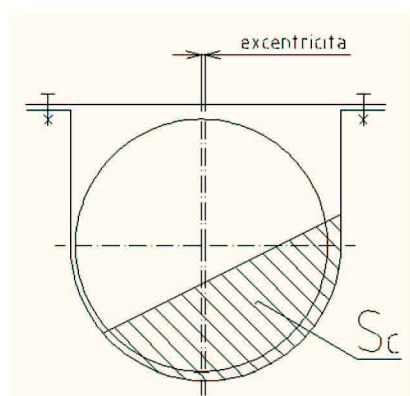
$\tau_s < \tau_{Dk} = 70 \text{ MPa} \rightarrow$  čep s drážkou pro pero na smyk vyhovuje

Vztah (40) dle [6], str. 41

## 8. Zatížení žlabu

Zatížení žlabu je nutno počítat kvůli návrhu jeho konstrukce. Jedná se o spojitě zatížení po celé délce žlabu, ale pro výpočet budu považovat toto zatížení jako sílu působící v těžišti.

Při výpočtu zatížení vycházím ze vztahu pro součinitel plnění, ze kterého vyjádřím obsah cementu v příčném řezu žlabu -  $S_c$ .



$$\psi = \frac{S_c}{\frac{\pi \cdot D_s^2}{4}} \Rightarrow S_c = \frac{\psi \cdot \pi \cdot D_s^2}{4} = \frac{0,3 \cdot \pi \cdot 0,32^2}{4} = 2,41 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \quad (41)$$

Vztah (41) dle [1], str. 209

Obr.16 Zaplnění žlabu

#### - výpočet hmotnosti cementu ve žlabu

$$m_{cc} = S_c \cdot l \cdot \gamma = 2,41 \cdot 10^{-2} \cdot 12 \cdot 1200 = 347,04 \text{ kg} \quad (42)$$

#### - síla působící na žlab

$$F_c = m_{cc} \cdot g = 347,04 \cdot 9,81 = 3405 \text{ N} \quad (43)$$



## 9. Závěr

Cílem této bakalářské práce byl návrh vodorovného šnekového dopravníku pro dopravu cementu. Tato práce se skládá z technické zprávy a výkresové dokumentace, která obsahuje výkres sestavení s podrobnou podsestavou uložení šnekového hřídele, svařovací sestavu šnekovnice a seznam položek. Postup návrhu probíhal tak, že byly nejdříve určeny základní parametry šneku a poté se postupovalo konvenčním způsobem návrhu. Dalším krokem byla volba pohonné jednotky, která je složena z elektromotoru SIEMENS a převodovky TOS Znojmo. Důvod zvolení právě této dvojice byl ten, že oba subjekty jsou vzájemně propojeny. Jedním z důležitých bodů technické zprávy byl návrh uložení šneku. Toto uložení bylo zajištěno pomocí dvouřadého soudečkového ložiska na straně pohonu, radiálního kuličkového ložiska na konci šneku a kluzných ložisek uvnitř žlabu. Ke všem ložiskům byl navržen přívod maziva užitím tlakových maznic. Dále bylo nutno zabránit přístupu cementu do ložiskového prostoru. Toho bylo docíleno vhodnou kombinací těsnících kroužků. Také byla provedena pevnostní kontrola těch částí dopravníku, které jsou zatíženy kroutícím momentem. Žádná z vypočtených hodnot nepřekročila dovolenou mez. Výkresová dokumentace byla vypracována na základě technické zprávy a zhotovena pomocí programu Autodesk AutoCAD Mechanical.



## 10. Seznam použité literatury

- [1] GAJDŮŠEK, J., ŠKOPÁN, M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení, skripta VUT Brno 1988
- [2] POLÁK, J., PAVLIŠKA, J., SLÍVA, A., HRABOVSKÝ, L.: Dopravní a manipulační zařízení 8: e-texty, elektronická skripta VŠB – Technická univerzita
- [3] KŘÍŽ, R.: Stavba a provoz strojů I. Část 3. Scientia, spol. s.r.o. – pedagogické nakladatelství, Praha, 1997, ISBN 80-7183-039-9
- [4] KŘÍŽ, R.: Stavba a provoz strojů I. Část 4. Scientia, spol. s.r.o. – pedagogické nakladatelství, Praha, 1997, ISBN 80-7183-108-5
- [5] SVOBODA, P., BRANDEJS, J., DVOŘÁČEK, J., PROKEŠ, F.: Základy konstruování, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2008, ISBN 978-80-7204-584-6
- [6] LEINVEBER, J., ŘASA, J., VÁVRA, P.: Strojnické tabulky, Scientia, spol. s.r.o. – pedagogické nakladatelství, Praha, 1999, ISBN 80-7183-164-6
- [7] SVOBODA, P., BRANDEJS, J., PROKEŠ, F.: Výběry z norem pro konstrukční cvičení, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2007, ISBN 978-80-7204-534-1
- [8] Katalog elektromotoru SIEMENS  
<http://www.elektromotory-siemens.cz/obchod/elektromotory-1400ot-min/elektromotor-siemens-1la7-130-4aa6x-5-5kw.html>
- [9] Katalog čelní převodovky  
[http://www.tos-znojmo.cz/produkce/mtc/cz/index\\_h.htm](http://www.tos-znojmo.cz/produkce/mtc/cz/index_h.htm)
- [10] Spojka s pryžovou obručí SPO 1 SIGAD  
<http://www.sigad.cz/spojky/spojky-s-pryzovou-obrucí-spo1/>
- [11] Radiální jednořadé kuličkové ložisko  
[http://www.skf.com/portal/skf/home/products?maincatalogue=1&lang=cs&newlink=1\\_1\\_1](http://www.skf.com/portal/skf/home/products?maincatalogue=1&lang=cs&newlink=1_1_1)
- [12] Dvouřadé soudečkové ložisko  
[http://www.skf.com/portal/skf/home/products?maincatalogue=1&lang=cs&newlink=1\\_6\\_1](http://www.skf.com/portal/skf/home/products?maincatalogue=1&lang=cs&newlink=1_6_1)
- [13] Katalog kluzných ložisek SKF  
<http://www.exvalos.cz/kluzna-loziska---pouzdra/kluzna-loziska---pouzdra-skf/>
- [14] Součinitel tření odporu pro cement  
[http://retezy-vam.com/pdf/volba\\_dopravniho.pdf](http://retezy-vam.com/pdf/volba_dopravniho.pdf)
- [15] Hustota pevných látek  
<http://www.converter.cz/tabulky/hustota-pevne.htm>



## 11. Seznam použitých symbolů

VELIČINA	POPIS	JEDNOTKA
$Q_v$	Objemový dopravní výkon	$m^3 \cdot h^{-1}$
$Q$	Dopravní výkon	$kg \cdot h^{-1}$
$\gamma$	Sypná objemová hmotnost dopravovaného materiálu	$kg \cdot m^3$
$\psi$	Součinitel plnění	-
$n$	Zvolené otáčky šneku	$s^{-1}$
$D_\xi$	Průměr šnekovnice	m
$S$	Stoupání šnekovnice	m
$c_H$	Souč. snižující dopravní množství při dopravě vzhůru	-
$P_{min}$	Minimální potřebný výkon	W
$w$	Celkový (globální) součinitel odporu	-
$n_1$	Otáčky elektromotoru	$s^{-1}$
$n_2$	Otáčky vycházející z převodovky	$s^{-1}$
$i$	Převodový poměr	-
$M_k$	Kroutící moment	N.m
$P$	Výkon elektromotoru	W
$\omega$	Úhlová rychlost	$rad \cdot s^{-1}$
$M_{t1}$	Jmenovitý točivý moment spojky	N.m
$M_{t2}$	Točivý moment spojky, při kterém dojde k prokluzu	N.m
$n_{max}$	Maximální otáčky spojky	$s^{-1}$
$Q_{v sk}$	Skutečný objemový dopravní výkon	$m^3 \cdot h^{-1}$
$m_h$	Hmotnost šnekového hřídele	kg
$m_1$	Hmotnost 1m šnekového hřídele	kg
$l$	Dopravní délka	m
$h$	Dopravní výška	m
$R_m$	Poloměr mezikruží šnekovnice	m
$R$	Poloměr šnekovnice	m





VELIČINA	POPIS	JEDNOTKA
$r_h$	Poloměr šnekového hřídele	m
$l_{š1}$	Délka šnekovnice na jednom stoupání závitu	m
$b_š$	Šířka příčného průřezu šnekovnice	m
$t_š$	Tloušťka šnekovnice	m
$S_š$	Plocha příčného průřezu šnekovnice	m
$z$	Počet závitů šnekovnice	-
$V_š$	Celkový objem šnekovnice	$m^3$
$\rho$	Hustota oceli	$kg \cdot m^3$
$V_č$	Objem čepu	$m^3$
$m_c$	Celková hmotnost šneku	kg
$m_š$	Hmotnost šnekovnice	kg
$m_0$	Kompenzační hmotnost šneku	kg
$F_R$	Radiální síla	N
$n_L$	Počet ložisek	-
$g$	Gravitační zrychlení	$m \cdot s^{-2}$
$F_A$	Axiální síla	N
$C_1$	Základní dynamická únosnost kuličkového ložiska	N
$X_1$	Koeficient radiálního zatížení kuličkového ložiska	-
$Y_1$	Koeficient axiálního zatížení kuličkového ložiska	-
$p_1$	Mocnitel pro kuličkové ložisko	-
$P_1$	Ekvivalentní dynamické zatížení kuličkového ložiska	N
$L_{h1}$	Základní trvanlivost kuličkového ložiska	h
$R_s$	Účinný poloměr šnekovnice	m
$\beta$	Úhel stoupání šnekovnice	°
$\varphi$	Třecí úhel mezi materiálem a šnekem	°
$f_m$	Součinitel tření pro ocel a cement	-
$e_2$	Poměr radiální a axiální síly	-



VELIČINA	POPIS	JEDNOTKA
$X_2$	Koeficient radiálního zatížení soudečkového ložiska	-
$Y_2$	Koeficient axiálního zatížení soudečkového ložiska	-
$p_2$	Mocnitel pro soudečkového ložiska	-
$C_2$	Základní dynamická únosnost soudečkového ložiska	N
$L_{h2}$	Základní trvanlivost soudečkového ložiska	h
$d_1$	Jmenovitý průměr kluzného ložiska	m
$l_1$	Délka kluzného ložiska	m
$p_1$	Otlačení kluzného ložiska	MPa
$p_{d1}$	Dovolené otlačení kluzného ložiska	MPa
$p_h$	Tlak v hřídeli	MPa
$p_{Dh}$	Dovolený tlak v hřídeli	MPa
$D_1$	Průměr šnekového hřídele	m
$D_2$	Průměr čepu ve šnekovém hřídeli	m
$D_3$	Průměr čepu s hlavou	m
$p_n$	Tlak v náboji	MPa
$p_{Dn}$	Dovolený tlak v náboji	MPa
$\tau_n$	Smyk v náboji	MPa
$\tau_{Dn}$	Dovolený smyk v náboji	MPa
$\tau_{\check{c}}$	Smyk v čepu s hlavou	MPa
$\tau_{D\check{c}}$	Dovolený smyk v čepu s hlavou	MPa
$n_{\check{c}}$	Počet čepů	-
$D'_{vs}$	Předběžný průměr čepu	mm
$D_{vs}$	Skutečný průměr čepu	mm
$t$	Hloubka drážky v hřídeli	mm
$t_1$	Hloubka drážky v náboji	mm
$p_p$	Otlačení pera	MPa



<b>VELIČINA</b>	<b>POPIS</b>	<b>JEDNOTKA</b>
$p_{Dp}$	Dovolené otláčení pera	MPa
$l_p$	Délka pera	mm
$b_p$	Šířka pera	mm
$\tau_s$	Smykové napětí v čepu s drážkou pro pero	MPa
$S_c$	Obsah cementu v příčném řezu žlabu	$m^2$
$m_{cc}$	Hmotnost cementu ve žlabu	kg
$F_{cc}$	Síla působící na žlab	N



## 12. Seznam příloh

### Výkresová dokumentace

Výkres sestavení:	Šnekový dopravník	00-3P-00	Ks 1
Sestava svarku:	Šnek	02-3P-00/01	Ks 1
Seznam položek:	Šnekový dopravník	00-3P-00/K	Ks 1

### Přílohy na CD

Technická zpráva:	Šnekový dopravník pro dopravu cementu (PDF)
Výkresová dokumentace:	Výkres sestavení, sestava svarku, seznam položek (PDF)