



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 DRCENÉHO KAMENIVA THE SCREW CONVEYOR OF AGGREGATE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JAKUB TOCHÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KAŠPÁREK, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Jakub Tocháček

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 drceného kameniva**

v anglickém jazyce:

#### **The screw conveyor of aggregate**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte vodorovný šnekový dopravník pro dopravu drobného drceného kameniva. Základní parametry:

Dopravované množství  $Q = 60$  t/hod

Dopravní délka  $L = 15$  m

Maximální zrnitost dopravovaného kameniva  $x = 32$  mm

Cíle bakalářské práce:

Vypracujte technickou zprávu, která bude obsahovat:

-koncepční návrh celého zařízení

-výpočet hlavních rozměrů, návrh funkčního pohonu

-pevnostní kontrola konstrukčních dílů dle pokynů vedoucího práce

Nakreslete:

-sestavu navrhovaného zařízení

-podrobnou podsestavu uložení šnekové hřídele ve všech ložiscích

-svařovací podsestavu žlabu

Seznam odborné literatury:

GAJDŮŠEK, J.; ŠKOPÁN, M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení, skripta VUT Brno, 1988

POLÁK, J., PAVLISKA, J., SLÍVA, A.: Dopravní a manipulační zařízení I., 1. vyd., Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001, 99 s., ISBN: 80-248-0043-8

LEINVEBER, J., VÁVRA, P.: Strojnické tabulky, vyd. Albra, 2003, s. 865, ISBN: 80-86490-74-2

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 30.10.2012

L.S.

---

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty



## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá koncepčním návrhem vodorovného šnekového dopravníku pro dopravu drceného kameniva. Práce se skládá z technické zprávy a výkresové dokumentace. Technická zpráva obsahuje především výpočet hlavních rozměrů, volbu pohonu, spojky a ložisek, mimo jiné i pevnostní kontrolu funkčních částí. Výkresová dokumentace, která je podložena modelovým zpracováním v 3D CAD systému, pak obsahuje výkres sestavy celého zařízení, podsestavy jednotlivých uložení a svařovací podsestavu žlabu.

## KLÍČOVÁ SLOVA

šnekový dopravník, kamenivo, šnek, žlab, pohon

## ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the conceptual design of horizontal screw conveyor for transportation of aggregate. The work consists of technical report and drawings. Technical report contains the calculation of main dimensions, selection of the drive, clutch and bearings, including stress analysis of functional parts. The drawings, which are based on model assembly processed in 3D CAD system, contains a drawing of the entire device, sub-assemblies of bearing seats and welding subassembly of trough.

## KEYWORDS

screw conveyor, aggregate, the screw conveying, trough, drive



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

TOCHÁČEK, J. *Šnekový dopravník drceného kameniva*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D..



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jaroslava Kašpárka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2013

.....  
Jakub Tocháček



## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jaroslavu Kašpárkovi, Ph.D. za jeho drahocenný čas, odbornou pomoc a cenné rady. Dále bych rád poděkoval své rodině a v neposlední řadě své přítelkyni, za jejich trpělivost a podporu.



## OBSAH

Úvod.....	10
1 Hlavní části .....	11
1.1 Šnek.....	11
1.2 Žlab .....	11
1.3 Pohon .....	12
2 Převázaný materiál.....	13
3 Výpočet hlavních parametrů.....	14
3.1 Objemový dopravní výkon.....	14
3.2 Průměr a stoupání šnekovice .....	14
4 Návrh pohonu.....	16
4.1 Minimální potřebný výkon.....	16
4.2 Převodový motor .....	16
4.3 Spojka.....	17
5 Kontrola objemového dopravního výkonu .....	19
6 Hmotnost šneku.....	20
6.1 Hmotnost šnekového hřídele .....	20
6.2 Hmotnost šnekovice.....	20
6.2.1 Objem šnekovice .....	21
6.2.2 Výpočet hmotnosti šnekovice .....	22
6.3 Hmotnosti čepů.....	22
6.4 Celková hmotnost šneku .....	23
7 Silové zatížení v dopravníku.....	24
7.1 Radiální síla .....	24
7.2 Axiální síla .....	25
7.3 Zatížení žlabu .....	26
8 Uložení šneku.....	28
8.1 Ložisko pohonu .....	28
8.2 Koncové ložisko .....	29
8.3 Kluzné ložisko .....	30
9 Pevnostní kontrola.....	32
9.1 Kontrola šnekového hřídele.....	32
9.1.1 Bezpečnost vzhledem k meznímu stavu pružnosti .....	32
9.1.2 Průhyb šnekového hřídele .....	34
9.1.3 Teplotní roztažnost .....	35
9.2 Kontrola čepů .....	35





---

9.2.1	Kontrola pera vstupního čepu.....	36
9.2.2	Kontrola čepového spoje.....	37
	Závěr .....	39
	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	42
	Seznam příloh .....	46

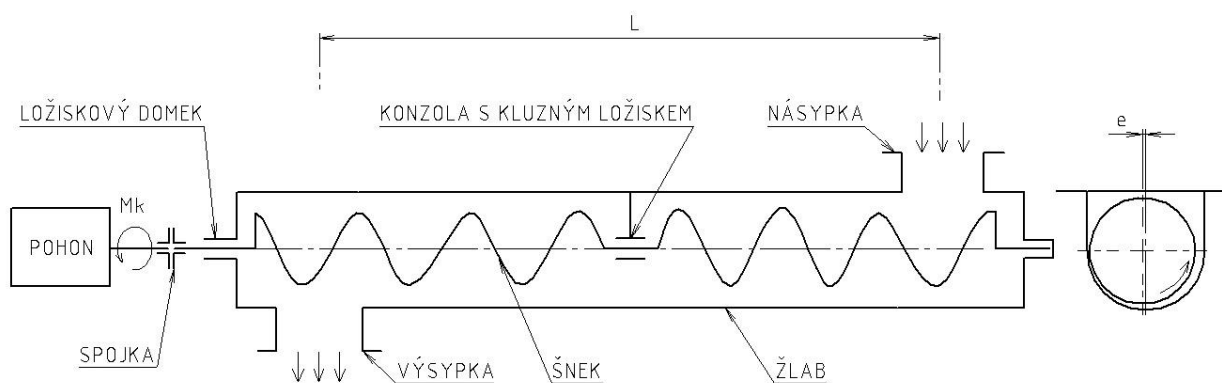


## ÚVOD

Šnekové dopravníky jsou v různých formách a provedeních nejčastěji používané dopravní a dávkovací zařízení pro sypké materiály ve vodorovném i mírně šikmém směru. Jsou konstrukčně jednoduché a provozně nenáročné, ale při dopravě abrazivních materiálů rychle podléhají opotřebení. Princip těchto dopravníků spočívá v tom, že dopravovaný materiál se pohybuje jako neotočná matice na pohybovém šroubu, kdy tření mezi materiálem a žlabem je větší než mezi materiálem a šnekem. Volitelné uložení pohonné jednotky a různé způsoby přenosu výkonu nabízí vysokou variabilnost použití a umístění šnekových dopravníků.

Parametry a rozsah použití šnekových dopravníků [1]:

- Dopravní výkony  $1 \div 300 \text{ [m}^3 \cdot \text{h}^{-1}\text{]}$
- Dopravní délky  $\leq 60 \text{ [m]}$
- Otáčky šneku  $10 \div 250 \text{ [ot. min}^{-1}\text{]}$
- Dopravní rychlost  $\leq 0,5 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$



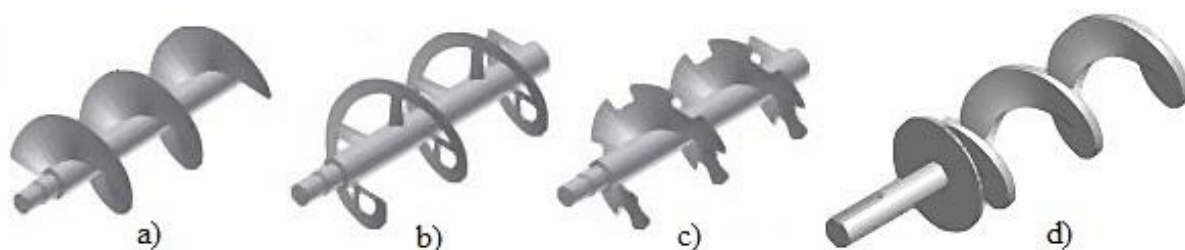
Obr. 1 Schéma šnekového dopravníku



# 1 HLAVNÍ ČÁSTI

## 1.1 ŠNEK

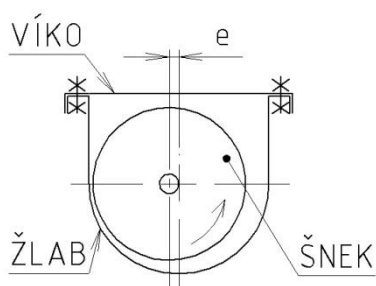
Šnek je nejdůležitější částí šnekového dopravníku. Skládá se ze dvou hlavních částí a to šnekovice a šnekového hřídele. Šnekovice, které tvoří pracovní část šneku, mají různá provedení (obr. 2). Plné šnekovice jsou používány při dopravě práškovitých a jemně zrnitých nelepivých materiálů, obvodové pro zrnité soudržné materiály a lopatkové umožňují dopravovat lepkavé materiály za jejich současného promíchávání. Každá z těchto šnekovic je přivařena ke šnekové hřídeli koutovým svarem s výjimkou bezhřídelového šneku, což je speciální provedení šneku bez hřídele používané především pro míchání materiálu. Hřídel šneku je z bezešvé ocelové trubky a jeho jednotlivé díly jsou navzájem spojeny čepy z oceli E335 (11 600).



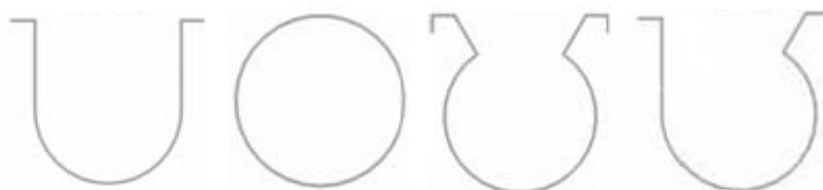
Obr. 2 Provedení šneku [5]  
a) Plný; b) Obvodový; c) Lopatkový; d) Bezhřídelový (spirální)

## 1.2 ŽLAB

Žlab je plechová konstrukce (tloušťky 3 až 8 mm) různých tvarů (obr. 4), ve které je přepravován materiál pomocí šneku, jenž je uložen minimálně ve dvou ložiscích a to v čelech žlabu, přičemž jedno z nich (nejčastěji u pohonu) je schopno zachytávat axiální sílu vznikající při přepravě materiálu. Při skládaném šneku je nutno použít i kluzná ložiska uložená v konzolách připevněných buď přímo ke žlabu nebo k jeho víku. Kvůli možnosti drcení a zadrhávání materiálu mezi šnekem a dnem žlabu se šnek často ukládá excentricky (obr. 3). [1]



Obr. 3 Uložení šneku ve žlabu



Obr. 4 Tvary žlabů [5]



### 1.3 POHON

K pohonu jsou používány třífázové asynchronní elektromotory s kotvou na krátko, s různými způsoby přenosu výkonu (řetěz, řemen, násuvná převodovka). V dnešní době se stále více používá převodových elektromotorů, což jsou pevné kombinace elektromotorů s různými typy převodovek a vznikají kompaktní a optimální hnací jednotky. Hnací moment je pak na šnek přenášen pružnou spojkou, která tlumí nerovnoměrný průběh otáček a zajišťuje tak klidný a plynulý chod.



*Obr. 5 Převodové elektromotory SIEMENS [8]*



## 2 PŘEPRAVOVANÝ MATERIÁL

Praxe prokázala, že šnekovými dopravníky lze dopravovat takřka všechny druhy sypkých látek (práškovité, zrnité, jemně kusovité, vláknité i mírně vlhké). Nehodí se však pro dopravu lepivých, hrubozrnných a silně abrazivních materiálů (při dopravě abrazivních materiálů klesá životnost pracovních orgánů) [1]. Příklady použití v jednotlivých průmyslech jsou uvedeny v tabulce (tab. 1).

Tab. 1 Aplikace šnekových dopravníků v jednotlivých průmyslech

stavebnictví	cement, písek, sádra, štěrk, mletý vápenec
zemědělství	obiloviny, luštěniny, slady, krmné směsi
energetika	elektrárenské popílký, uhelný prach
dřevozpracující průmysl	piliny, hobliny, pelety, štěpky
potravinářský průmysl	mouka, zrniny, cukr, sůl, káva
chemický průmysl	barviva, hnojiva, plastový granulát

### KAMENIVO

Dle [6] se pod pojmem kamenivo rozumí zrnitý (sypký) anorganický materiál přírodního nebo umělého původu, s velikostí zrna do 125 mm, který je určen pro stavební účely. Ve stavebnictví se kamenivo používá především jako plnivo, které v kombinaci s vhodnými pojivy slouží pro přípravu malt a betonů. V betonu tvoří kamenivo 75 až 80 % celkového objemu a jeho hlavní funkcí je vytvoření pevné a tlakově odolné kostry, která vzniká vzájemným opřením a zaklíněním jednotlivých zrn.

Vlastnosti kameniva jsou ovlivněny především jeho původem, tj. mineralogickým složením a obsahem dalších složek. Základními požadavky na kamenivo jsou především objemová hmotnost a pevnost zrn, nízká nasákavost a trvanlivost.

### PARAMETRY ZADANÉHO MATERIÁLU POTŘEBNÉ PRO VÝPOČET

$x = 32 \text{ mm}$	.....maximální zrnitost	dle zadání
$\gamma = 1500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	.....sypná objemová hmotnost	dle [1, str. 210, tab. 9.2]
$w = 5$	.....globální součinitel odporu	dle [1, str. 210, tab. 9.2]
$\psi = 0,15$	.....součinitel plnění	dle [1, str. 209, tab. 9.1]
$f_m = 0,7$	.....součinitel tření mezi žlabem a mat.	dle [1, str. 177, tab. 8.10]



### 3 VÝPOČET HLAVNÍCH PARAMETRŮ

Při výpočtu hlavních parametrů se postupuje podle [1] a následná volba rozměrů hlavních částí se řídí normou ČSN ISO 1050.

#### 3.1 OBJEMOVÝ DOPRAVNÍ VÝKON

$$Q_{Vp} = \frac{Q}{\gamma} \quad [m^3 \cdot h^{-1}] \quad (1)$$

$$Q_{Vp} = \frac{60000}{1500}$$

$$Q_{Vp} = 40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

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

$Q = 60000 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$  .....maximální zrnitost dle zadání

$\gamma = 1500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  .....sypná objemová hmotnost [1, str. 210, tab. 9.2]

#### 3.2 PRŮMĚR A STOUPÁNÍ ŠNEKOVICE

Pro objemový dopravní výkon platí také vztah (2). Úpravou a dosazením doporučených hodnot lze z této rovnice vypočítat průměr šnekovice podle vztahu (3).

$$Q_V = 3600 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot s \cdot \psi \cdot n \cdot c_H \quad [m^3 \cdot h^{-1}] \quad (2)$$

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

$D [m]$  .....průměr šnekovice

$s [m]$  .....stoupání šnekovice, pro velké průměry šneků  $s \approx 0,8 \cdot D$

$\psi = 0,15$  .....součinitel plnění [1, tab. 9.1, str. 209]

$n = 0,95 \text{ ot} \cdot \text{s}^{-1}$  .....otáčky šneku voleny [1, tab. 9.1, str. 209]

$c_H = 1$  .....součinitel sklonu dopravníku [1, obr. 9.7, str. 209]

$$D' = \sqrt[3]{\frac{Q_{Vp}}{720 \cdot \pi \cdot \psi \cdot n \cdot c_H}} \quad [m] \quad (3)$$

$$D' = \sqrt[3]{\frac{40}{720 \cdot \pi \cdot 0,15 \cdot 0,95 \cdot 1}}$$

$$D' = 0,498 \text{ m}$$

Dle normalizované řady ČSN ISO 1050 je voleno  $D = 0,5 \text{ m}$



Stoupání šnekovice dle [1]

$$s = 0,8 \cdot D \quad [m] \quad (4)$$

$$s = 0,8 \cdot 0,5$$

$$s = 0,4 \text{ m}$$

Stoupání je  $0,4 \text{ m}$ , což je zároveň i normalizovaný rozměr a je tedy zvolena tato hodnota. Za materiál šnekovice zvolen plech RAEX AR 400 [7] tloušťky  $t_s = 6 \text{ mm}$ .

Je-li dopravník určen pro dopravu hrubozrnného materiálu, je nutné zkontrolovat navržený průměr šnekovice vzhledem maximální velikosti částic dopravovaného materiálu.

Pro materiály tříděné:

$$D_k \geq (8 \div 12) \cdot a_{max} \quad [m] \quad (5)$$

$$D_k = 12 \cdot 0,032 = 0,384 \text{ m}$$

$$D = 0,5 \text{ m} \geq D_k = 0,384 \text{ m} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

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

$$a_{max} = 0,032 \text{ m} \quad \dots \text{maximální zrnitost } a_{max} = x \text{ dle zadání}$$



## 4 NÁVRH POHONU

### 4.1 MINIMÁLNÍ POTŘEBNÝ VÝKON

$$P_{min} = \frac{Q \cdot g}{3600} \cdot (l_v \cdot w \pm h) \quad [W] \quad (6)$$

$$P_{min} = \frac{60000 \cdot 9,81}{3600} \cdot (15 \cdot 5 \pm 0) = 12262,5 W$$

$$P_{min} = 12263 W$$

Vztah (6) dle [1, str. 209], kde:

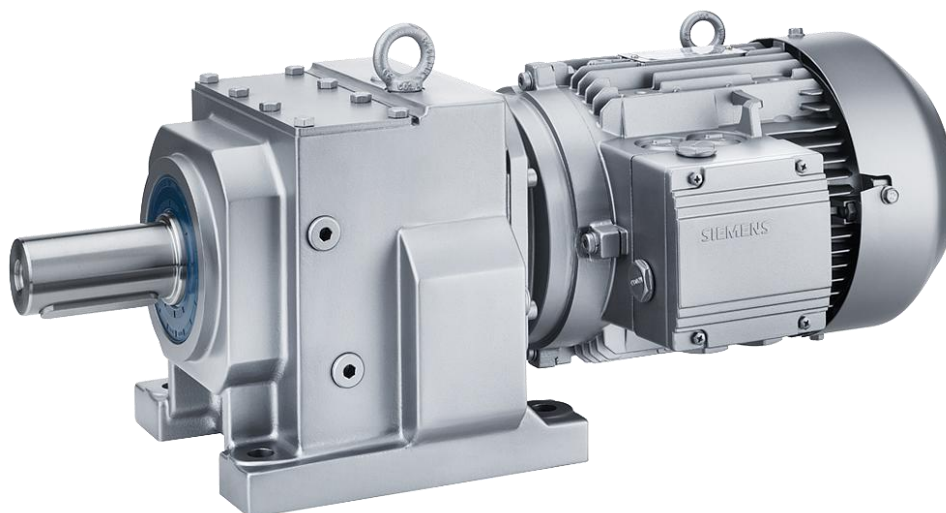
- $g = 9,81 m \cdot s^{-2}$  .....tíhové zrychlení
- $l_v = 15 m$  .....vodorovná dopravní vzdálenost dle zadání
- $w = 5$  .....celkový součinitel odporu dle [1, tab. 9.2, str. 210]
- $h = 0 m$  .....dopravní výška

### 4.2 PŘEVODOVÝ MOTOR

Z katalogu převodových motorů společnosti SIEMENS [8], zvolen převodový motor MOTOX Z128 – LA160L4. Jedná se o kombinaci třífázového, 4-pólového, asynchronního motoru s kotvou na krátko a 2-stupňové čelní převodovky.

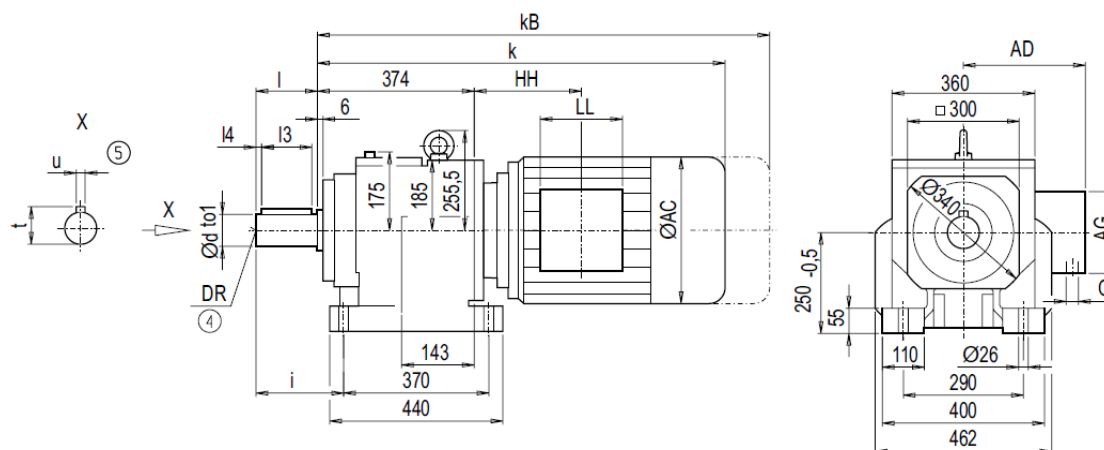
Tab. 2 Parametry zvoleného převodového motoru podle [8]

SIEMENS MOTOX Z128 – LA160L4					
$P_m$ [kW]	$n_2$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	$M_m$ [Nm]	$f_B$	$i$	$m_m$ [kg]
15	58	2458	2,1	25,05	273



Obr. 6 Převodový motor SIEMENS MOTOX Z128 – LA160L4 [8]





Obr.7 Převodový motor MOTOX Z128 v patkovém provedení [8]

Tab. 3 Rozměrové parametry zvoleného převodového motoru podle [8]

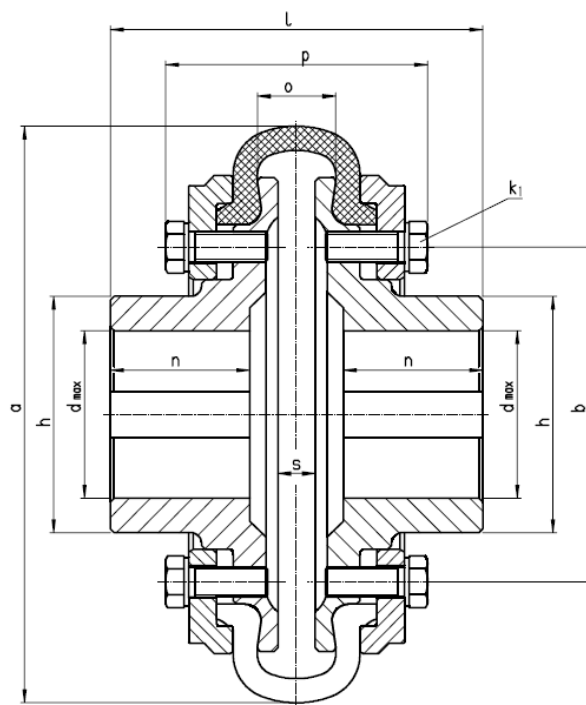
SIEMENS MOTOX Z128 – LA160L4								
d	to l	l	l4	l3	t	u	i	DR
70	m6	140	15	110	74,5	20	186	M20x42
k	kB	AC	AD	AG	LL	HH	O	
880	998,5	313,5	227	165	165	167,5	2xM40x1,5	

### 4.3 SPOJKA

Pro spojení hnacího hřídele s hřídelem šneku zvolena pružná spojka Periflex od firmy STROMAG. Předností této spojky je například snadná montáž (demontáž) pružného dílu bez nutnosti axiálního posuvu mezi hnací a poháněnou hřídelí, výborné tlumení reakcí při rozběhu, stejně tak při přetížení nebo při nerovnoměrném chodu (a s tím spojené vibrace) a tím pádem zajištění klidného a plynulého chodu. Mimo to vyniká vysokou životností, tedy za předpokladu že nebude vystavena vyšším teplotám nebo nebude v prostředí s agresivními chemickými látkami.



Obr. 8 Spojka Periflex [9]



Obr. 9 Schéma spojky Periflex [9]

Tab. 4 Tabulka hlavních parametrů spojky Periflex [9]

STROMAG Periflex PNA 300X/426X							
$M_{kn}$ [Nm]	a [mm]	h [mm]	$d_{max}$ [mm]	l [mm]	n [mm]	s [mm]	$m_s$ [kg]
4000	402	160	110	364	155	24	74,6



## 5 KONTROLA OBJEMOVÉHO DOPRAVNÍHO VÝKONU

Při výpočtu průměru šnekovice se do vzorce (3) dosazovala požadovaná hodnota objemového dopravního výkonu  $Q_{vp} = 40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , při zvolených otáčkách  $n = 0,95 \text{ ot} \cdot \text{s}^{-1}$ . Jelikož se průměr navržený liší od průměru vypočteného a také otáčky se po volbě pohonu změnili na  $n_2 = 0,966 \text{ ot} \cdot \text{s}^{-1}$ , je nutné zkontrolovat zda-li objemový dopravní výkon vyhovuje požadavkům.

### SKUTEČNÝ OBJEMOVÝ DOPRAVNÍ VÝKON

$$Q_{Vsk} = 3600 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot s \cdot \psi \cdot n_2 \cdot c_H \quad [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}] \quad (7)$$

$$Q_{Vsk} = 3600 \cdot \frac{\pi \cdot 0,5^2}{4} \cdot 0,4 \cdot 0,15 \cdot 0,966 \cdot 1 = 40,969 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$Q_{Vsk} = 41 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \geq Q_{vp} = 40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

### ROZDÍL POŽADOVANÉ A SKUTEČNÉ HODNOTY

$$\Delta = \frac{Q_{Vsk} - Q_{vp}}{Q_{vp}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (8)$$

$$\Delta = \frac{41 - 40}{40} \cdot 100$$

$$\Delta = 2,5 \%$$

Jelikož je rozdíl kladný a poměrně malý, tak je považován za vyhovující.



## 6 HMOTNOST ŠNEKU

Cílem této kapitoly je zjistit celkovou hmotnost rotujících součástí ve žlabu, neboli hmotnost kterou budou muset ložiska, ve kterých bude šnek uložen, unést. Hmotnost, v kombinaci s tíhovým zrychlením, pak představuje radiální sílu působící na ložiska, jejichž reakce jsou dále potřebné pro návrh uložení šneku a zvolení příslušných ložisek.

### 6.1 HMOTNOST ŠNEKOVÉHO HŘÍDELE

Z důvodu úspory materiálu a redukce hmotnosti je zvolen šnekový hřídel z bezešvé ocelové trubky o rozměrech TR  $\varnothing 114,3 \times 20$  – ČSN EN 10220 materiál S355J2H (11 503) dle EN 10210-1. Šnek bude poskládán z pěti stejných dílů po 3 m v celkové délce šneku  $L = 15 \text{ m}$ .

Dle [3] je hmotnost 1 m materiálu TR  $\varnothing 114,3 \times 20$   $m_{h1} = 46,51 \text{ kg}$

$$m_h = L \cdot m_{h1} \quad [\text{kg}] \quad (9)$$

$$m_h = 15 \cdot 46,51$$

$$m_h = 697,65 \text{ kg}$$

### 6.2 HMOTNOST ŠNEKOVICE

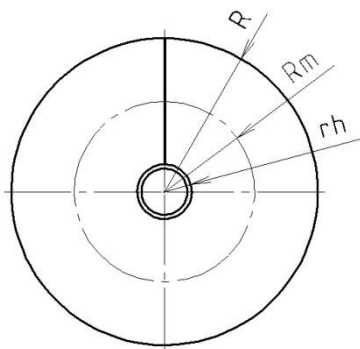
#### POLOMĚR MEZIKRUŽÍ ŠNEKOVICE

$$R_m = \frac{R + r_h}{2} \quad [\text{m}] \quad (10)$$

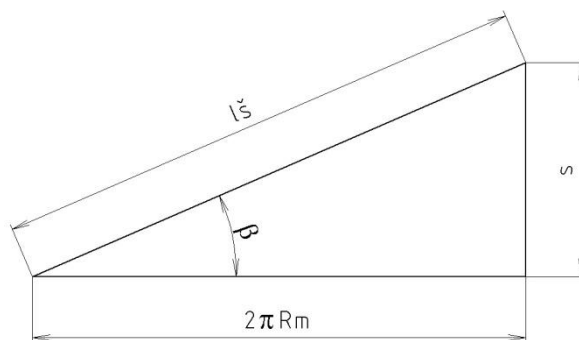
$$R_m = \frac{0,25 + 0,05715}{2}$$

$$R_m = 0,15357 \text{ m}$$

kde:  $R = 0,25 \text{ m}$  .....poloměr šnekovice  
 $r_h = 0,05715 \text{ m}$  .....poloměr šnekového hřídele



Obr. 10 Poloměry šnekovice



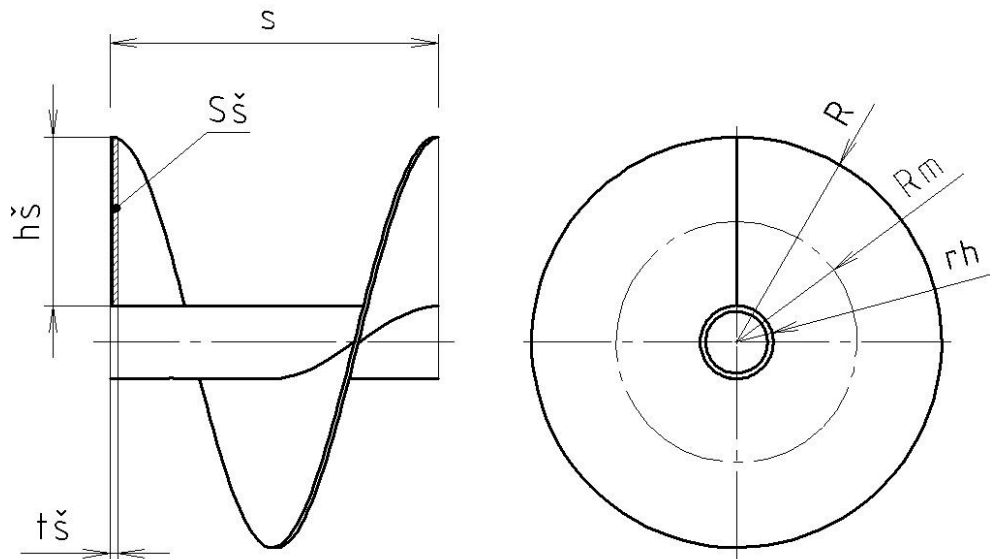
Obr. 11 Stoupání šnekovice

**DÉLKA ŠNEKOVICE NA JEDNOM STOUPÁNÍ ZÁVITU**

$$l_{\xi} = \sqrt{s^2 + (2 \cdot \pi \cdot R_m)^2} \quad [m] \quad (11)$$

$$l_{\xi} = \sqrt{0,4^2 + (2 \cdot \pi \cdot 0,153575)^2}$$

$$l_{\xi} = 1,0445 \text{ m}$$

**6.2.1 OBJEM ŠNEKOVICE**

Obr. 12 Závit šneku

**VÝŠKA PŘÍČNÉHO PRŮŘEZU ŠNEKOVICE**

$$h_{\xi} = R - r_h \quad [m] \quad (12)$$

$$h_{\xi} = 0,25 - 0,05715$$

$$h_{\xi} = 0,19285 \text{ m}$$

**PLOCHA PŘÍČNÉHO PRŮŘEZU ŠNEKOVICE**

$$S_{\xi} = h_{\xi} \cdot t_{\xi} \quad [m^2] \quad (13)$$

$$S_{\xi} = 0,19285 \cdot 0,006$$

$$S_{\xi} = 0,001157 \text{ m}^2$$

**POČET ZÁVITŮ ŠNEKOVICE**

$$z = \frac{L}{s} \quad [-] \quad (14)$$

$$z = \frac{15}{0,4} = 37,5$$

$$z = 37,5$$



### CELKOVÝ OBJEM ŠNEKOVICE

$$V_{\text{š}} = S_{\text{š}} \cdot l_{\text{š}} \cdot z \quad [m^3] \quad (15)$$

$$V_{\text{š}} = 0,001157 \cdot 1,0445 \cdot 37,5$$

$$V_{\text{š}} = 0,0453 m^3$$

### 6.2.2 VÝPOČET HMOTNOSTI ŠNEKOVICE

$$m_{\text{š}} = V_{\text{š}} \cdot \rho_{ocel} \quad [kg] \quad (16)$$

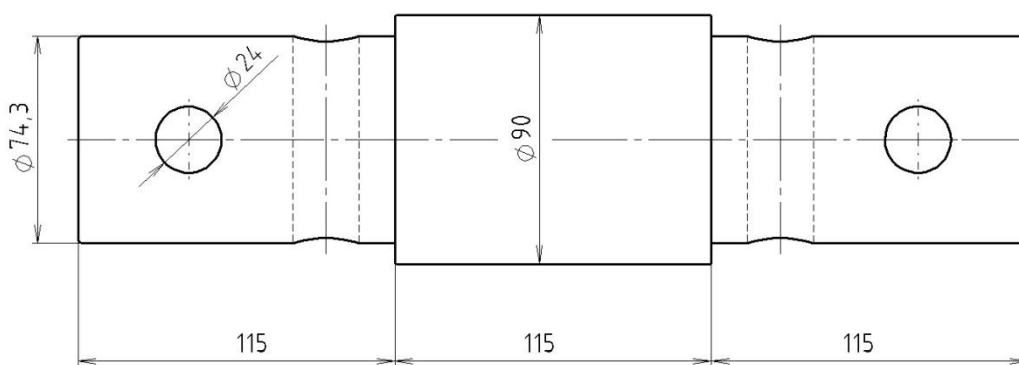
$$m_{\text{š}} = 0,0453 \cdot 7850$$

$$m_{\text{š}} = 355,8 kg$$

kde:  $\rho_{ocel} = 7850 kg \cdot m^{-3}$  .....hustota oceli dle [3, str. 60]

### 6.3 HMOTNOSTI ČEPŮ

Při větších dopravních vzdálenostech jsou šnekové hřídele dělené, a proto je nutné tyto jednotlivé části spojit a to spojovacími čepy. Tyto čepy jsou uloženy v kluzných ložiscích konzol a slouží k vedení šneku ve žlabu. Mimo jiné je ke šnekové hřídeli připojen čep hnací, který je uložen v soudečkovém ložisku zachytávající axiální sílu a čep koncový uložený v radiálním kuličkovém ložisku.



Obr. 13 Spojovací čep

### OBJEM SPOJOVACÍHO ČEPU

$$V_{s\check{c}} = \left[ 2 \cdot \left( \frac{\pi \cdot 0,0743^2}{4} \right) \cdot 0,115 + \left( \frac{\pi \cdot 0,09^2}{4} \right) \cdot 0,115 \right] - \left[ 4 \cdot \left( \frac{\pi \cdot 0,024^2}{4} \right) \cdot 0,0743 \right] \quad (17)$$

$$V_{s\check{c}} = 0,00159 m^3$$



### HMOTNOST SPOJOVACÍHO ČEPU

$$m_{sč} = V_{sč} \cdot \rho_{ocel} \quad [kg] \quad (18)$$

$$m_{sč} = 0,00159 \cdot 7850$$

$$m_{sč} = 12,5 \text{ kg}$$

### HMOTNOST ČEPU VSTUPNÍHO A KONCOVÉHO

Protože tyto dva čepy jsou tvarově poněkud složitější než spojovací, tak ke zjištění hmotnosti obou součástí je využita možnost analýzy fyzikálních vlastností, kterou nabízí program SolidWorks, ve kterém byly vytvořeny modely těchto součástí.

$$m_{vč} = 18,1 \text{ kg} \quad \dots\text{hmotnost vstupního čepu}$$

$$m_{kč} = 11,95 \text{ kg} \quad \dots\text{hmotnost koncového čepu}$$

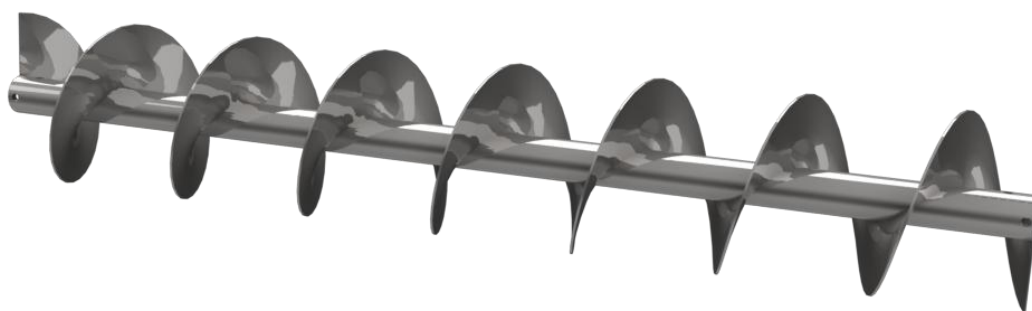
## 6.4 CELKOVÁ HMOTNOST ŠNEKU

Do celkové hmotnosti se počítá také spojovací materiál jako jsou svary, čepy s hlavou, podložky a závlačky. Z tohoto důvodu se započítává do celkové hmotnosti hmotnost  $m_o = 16,5 \text{ kg}$ .

$$m_c = m_h + m_s + 4 \cdot m_{sč} + m_{vč} + m_{kč} + m_o \quad [kg] \quad (19)$$

$$m_c = 697,65 + 355,8 + 4 \cdot 12,5 + 18,1 + 11,95 + 16,5$$

$$m_c = 1150 \text{ kg}$$



Obr.14 Jeden díl šneku

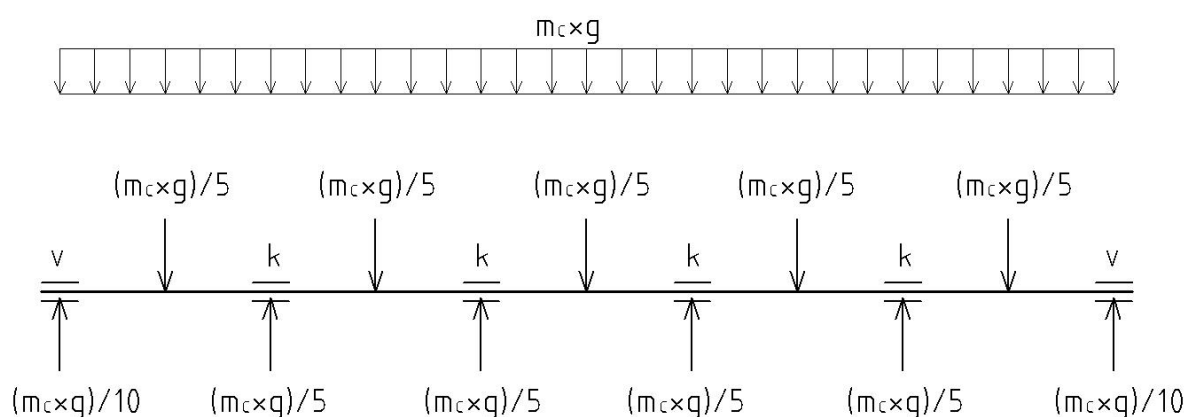


## 7 SILOVÉ ZATÍŽENÍ V DOPRAVNÍKU

Cílem této kapitoly je spočítat základní síly působící v dopravníku potřebné pro další výpočet.

### 7.1 RADIÁLNÍ SÍLA

Tato síla je vyvozena od celkové hmotnosti šneku, která je rozdělena na pět stejně dlouhých úseků, rozdělenými jednotlivými uloženími. Reakce v ložiscích pak představují jejich radiální zatížení.



Obr. 15 Radiální síla od hmotnosti šneku

$$F_R = \frac{m_c \cdot g}{n_u} \quad [N] \quad (20)$$

$$F_R = \frac{1150 \cdot 9,81}{5} = 2256,3 \text{ N}$$

$$F_R = 2256 \text{ N}$$

kde:  $n_u = 5$  .....počet úseků, na které se rozloží hmotnost šneku

Podle (obr.15) pak:

#### RADIÁLNÍ ZATÍŽENÍ KLUZNÝCH LOŽISEK

$$F_{Rk} = \frac{m_c \cdot g}{5} = 2256 \text{ N}$$

#### RADIÁLNÍ ZATÍŽENÍ VALIVÝCH LOŽISEK

$$F_{Rv} = \frac{m_c \cdot g}{10} = 1128 \text{ N}$$





## 7.2 AXIÁLNÍ SÍLA

V důsledku vzájemné interakce materiálu a pohybujícího se šneku vzniká axiální síla, která musí být zachycena axiálním ložiskem umístěným zpravidla na straně pohonu.

### ÚČINNÝ POLOMĚR ŠNEKOVICE

$$R_S = (0,35 \div 0,4) \cdot D \quad [m] \quad (21)$$

$$R_S = 0,4 \cdot 0,5$$

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

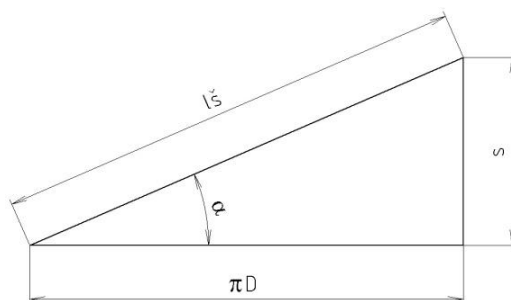
Vztah (21) dle [1], str. 210

### ÚHEL STOUPÁNÍ ŠNEKOVICE

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{s}{\pi \cdot D} \right) \quad [^\circ] \quad (22)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{0,4}{\pi \cdot 0,5} \right)$$

$$\alpha = 14^\circ 17'$$



Obr. 16 Úhel stoupání  $\alpha$

### VÝPOČET AXIÁLNÍ SÍLY

$$F_A = \frac{M_k}{R_S \cdot \tan(\alpha + \varphi)} \quad [N] \quad (23)$$

$$F_A = \frac{2458}{0,2 \cdot \tan(14^\circ 17' + 35^\circ)} = 10577,29 \text{ N}$$

$$F_A = 10577 \text{ N}$$

Vztah (23) dle [1], str. 210, kde:

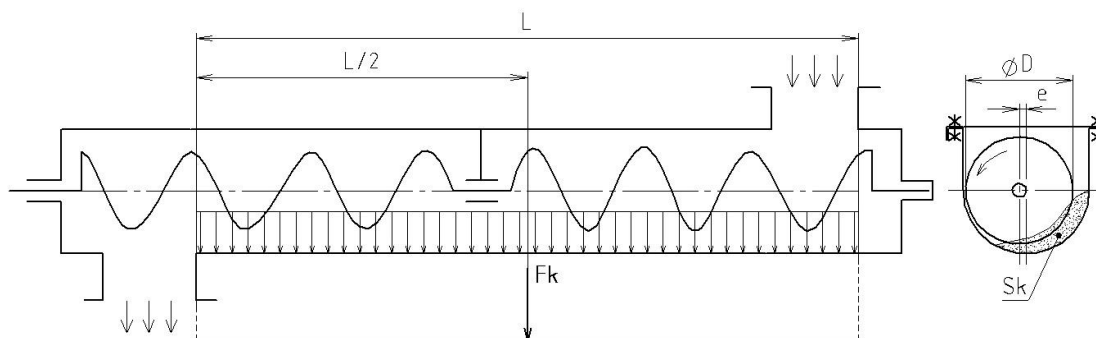
$M_k = 2458 \text{ Nm}$  .....hnací moment viz.  $M_m$  tab. 2, str. 13

$\varphi = 35^\circ$  .....třecí úhel mezi materiálem a šnekem dle [10]



### 7.3 ZATÍŽENÍ ŽLABU

Důležitým faktorem pro návrh konstrukce žlabu je tíhové zatížení od dopravovaného materiálu. Zatížení je spojité po celé dopravní délce, avšak pro výpočet je nahrazeno silou  $F_k$  (rovnou ploše zatěžovacího obrazce) působící v těžišti zatěžovacího obrazce. Při výpočtu se pak vychází ze vztahu pro součinitel zaplnění žlabu.



Obr. 17 Spojité zatížení od tíhy materiálu

#### PRŮŘEZ DOPRAVOVANÝM MATERIÁLEM

$$\psi = \frac{S_k}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} \Rightarrow S_k = \frac{\psi \cdot \pi \cdot D^2}{4} \quad [m^2] \quad (24)$$

$$S_k = \frac{0,15 \cdot \pi \cdot 0,5^2}{4}$$

$$S_k = 0,02945 \text{ m}^2$$

Vztah (24) dle [1, str. 209], kde:

$$\psi = 0,15 \quad \dots \text{součinitel plnění dle [1, str. 209, tab. 9.1]}$$

#### OBJEM MATERIÁLU V DOPRAVNÍKU

$$V_k = S_k \cdot L \quad [m^3] \quad (25)$$

$$V_k = 0,02945 \cdot 15$$

$$V_k = 0,4418 \text{ m}^3$$

#### HMOTNOST MATERIÁLU V DOPRAVNÍKU

$$m_k = V_k \cdot \gamma \quad [kg] \quad (26)$$

$$m_k = V_k \cdot \gamma = 0,4418 \cdot 1500$$

$$m_k = 662,7 \text{ kg}$$

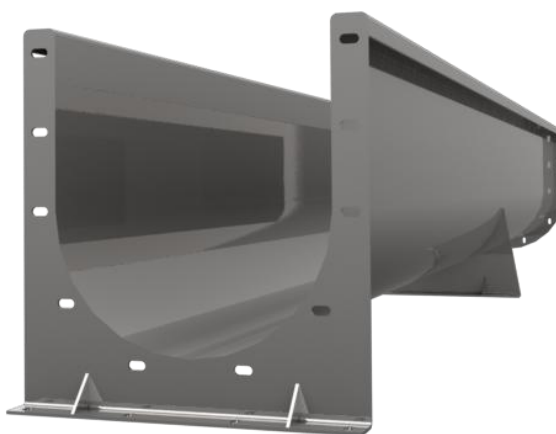
**SÍLA NAHRAZUJÍCÍ SPOJITÉ ZATÍŽENÍ**

$$F_k = m_k \cdot g \quad [N] \quad (27)$$

$$F_k = 662,7 \cdot 9,81$$

$$F_k = 6501 N$$

Z důvodu přepravy vysoce abrazivního materiálu volím materiál žlabu plech RAEX AR 400 [7] tloušťky  $t_s = 6 \text{ mm}$ . Samotný žlab je složen ze tří prakticky stejných dílů o délce  $5200 \text{ mm}$  s výjimkou žlabu, který je opatřen otvorem pro výsyp a přivařenou výsypkou.



*Obr. 18 Žlab*



## 8 ULOŽENÍ ŠNEKU

### 8.1 LOŽISKO POHONU

Toto ložisko by mělo být schopné zachytit jak radiální tak i axiální sílu, která vzniká v důsledku vzájemné interakce materiálu a pohybujícího se šneku. Protože v tomto konkrétním případě vychází axiální síla poměrně velká, a proto určujícím prvek pro výběr ložiska je především jeho axiální únosnost. Z tohoto důvodu je zvoleno soudečkové ložisko od SKF Explorer 23220 CCK/W33 s příslušným upínacím pouzdrům H 2320. Ložiskový prostor je utěsněn hřídelovým těsnícím kroužkem a mazání ložiska zajišťuje tlaková maznice.

Tab. 5 Hodnoty soudečkového ložiska potřebné pro výpočet [11]

SKF Explorer 23220 CCK/W33 H 2320				
$C_1$ [kN]	$e$	$X_1$	$Y_1$	$p$
475	0,33	0,67	3	10/3

#### AXIÁLNÍ ÚNOSNOST

Dle [12] lze axiální únosnost soudečkových ložisek, montovaných na upínacích pouzdrech, vypočítat ze vztahu:

$$F_{ap} = 0,003 \cdot B \cdot d \quad [kN] \quad (28)$$

$$F_{ap} = 0,003 \cdot 60,3 \cdot 90$$

$$F_{ap} = 16,3 \text{ kN} > F_A = 10,6 \text{ kN} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Vztah (28) dle [11], kde:

$$B = 60,3 \text{ mm} \quad \dots \text{šířka ložiska dle [11]}$$

$$d = 90 \text{ mm} \quad \dots \text{průměr díry ložiska (průměr hřídele) dle [11]}$$

#### POMĚR AXIÁLNÍ A RADIÁLNÍ SÍLY

$$\frac{F_A}{F_{Rv}} = \frac{10,6}{1,13} = 9,4 > e = 0,33 \quad (29)$$

#### DYNAMICKÉ EKVIVALENTNÍ ZATÍŽENÍ

$$P_1 = X_1 \cdot F_R + Y_1 \cdot F_A \quad [N] \quad (30)$$

$$P_1 = 0,67 \cdot 1128 + 3 \cdot 10577$$

$$P_1 = 32487 \text{ N}$$



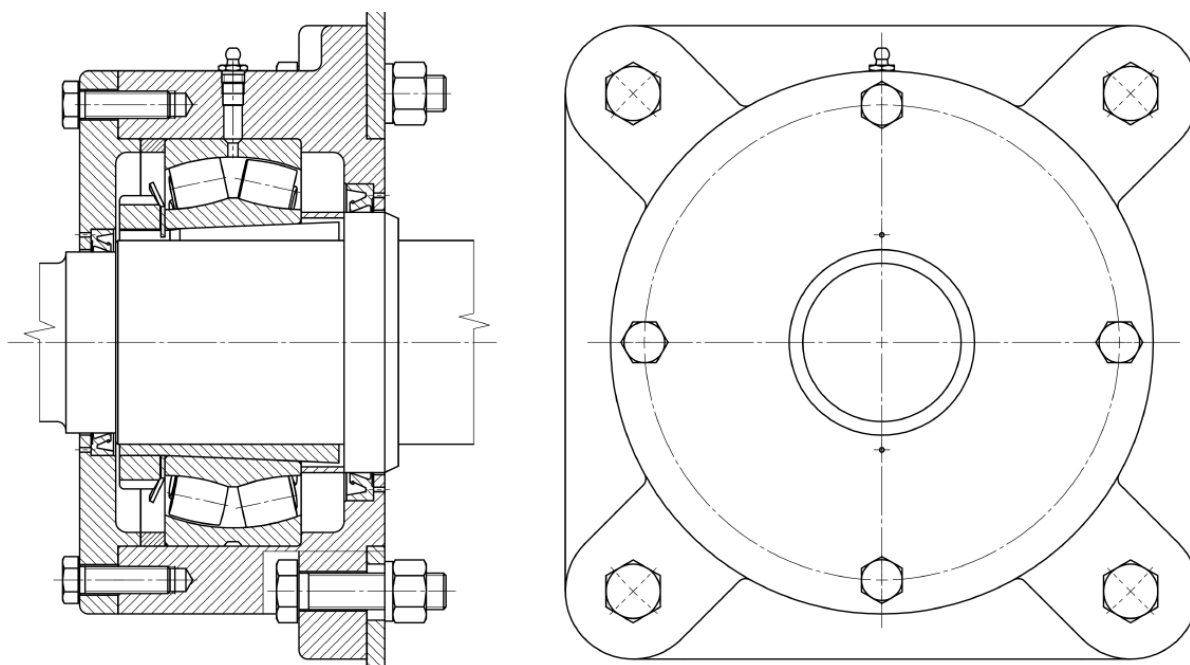
### ZÁKLADNÍ TRVANLIVOST V HODINÁCH

$$L_{10h1} = \left(\frac{C_1}{P_1}\right)^p \cdot \left(\frac{10^6}{60 \cdot n_2}\right) \quad [\text{hod}] \quad (31)$$

$$L_{10h1} = \left(\frac{475000}{32487}\right)^{3,3} \cdot \left(\frac{10^6}{60 \cdot 58}\right)$$

$$L_{10h1} = 2 \cdot 10^6 \text{ hod}$$

Vzhledem k tomu, že nebyla zadána požadovaná trvanlivost, lze tuto trvanlivost považovat za vyhovující. Stejný případ nastane i u koncového ložiska.



Obr. 19 Ložiskový domek se soudečkovým ložiskem

## 8.2 KONCOVÉ LOŽISKO

Toto ložisko je zatěžováno pouze radiální silou, z tohoto důvodu je zvoleno radiální jednořadé kuličkové ložisko od SKF Explorer 6317. Kvůli možné osově dilataci hřídele šneku je ložisku umožněn axiální posuv. Ložiskový prostor je utěsněn hřídelovým těsnícím kroužkem, samotné ložisko je pak opatřeno krytem na straně ke žlabu, v případě průniku nečistot do ložiskového domku a mazání ložiska zajišťuje tlaková maznice.

Tab. 6 Hodnoty kuličkového ložiska potřebné pro výpočet [13]

SKF Explorer 6317			
$C_2$ [kN]	$X_2$	$Y_2$	$p$
140	1	0	3



### DYNAMICKÉ EKVIVALENTNÍ ZATÍŽENÍ

$$P_2 = X_2 \cdot F_{Rv} \quad [N] \quad (32)$$

$$P_2 = 1 \cdot 1128$$

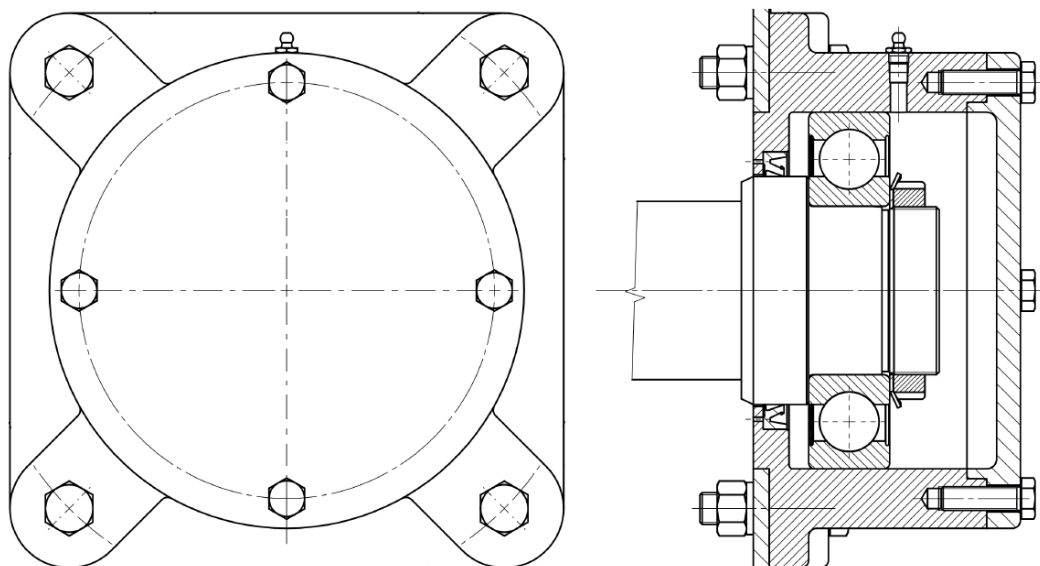
$$P_2 = 1128 \text{ N}$$

### ZÁKLADNÍ TRVANLIVOST V HODINÁCH

$$L_{10h2} = \left( \frac{C_2}{P_2} \right)^p \cdot \left( \frac{10^6}{60 \cdot n_2} \right) \quad [hod] \quad (33)$$

$$L_{10h2} = \left( \frac{140000}{1128} \right)^3 \cdot \left( \frac{10^6}{60 \cdot 58} \right)$$

$$L_{10h2} = 549 \cdot 10^6 \text{ hod}$$



Obr. 20 Ložiskový domek s kuličkovým ložiskem

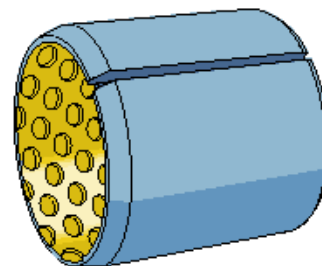
## 8.3 KLUZNÉ LOŽISKO

Jak bylo zmíněno v kapitole 6.3 spojovací čepy jsou uloženy v kluzných ložiscích konzol a slouží k vedení šneku ve žlabu. Pro tento účel je zvoleno ložisko od SKF PCM 909560 M. Tato kluzná pouzdra z třívrstvého kompozitu se zásobníky maziva v kluzné vrstvě (Obr.21) vyžadují pouze počáteční namazání a díky tomu vyžadují minimální údržbu a mimořádně dobře se uplatní v uloženích, která ohrožují nečistoty z pracovního prostředí [14]. Samotné pouzdro je uloženo v děleném ložiskovém tělese, které je sevřeno v rámu tvořeného pásy ohýbaného plechu stáhnuty pomocí šroubového spoje a utěsněno plochými těsníci kružky zasazenými ve víčkách. Celá konzola je připevněna ke žlabu a je lehce dostupná díky víkům žlabu, které jsou připevněny na pantech. Toto provedení umožňuje snadnou dostupnost a rozebíratelnost v případě poruchy.



Tab. 7 Hodnoty kluzného ložiska potřebné pro výpočet [14]

SKF PCM 909560 M			
$C_3$ [kN]	$d_3$ [mm]	$D_3$ [mm]	$B_3$ [mm]
640	90	95	60



Obr. 21 Kluzné pouzdro SKF PCM [15]

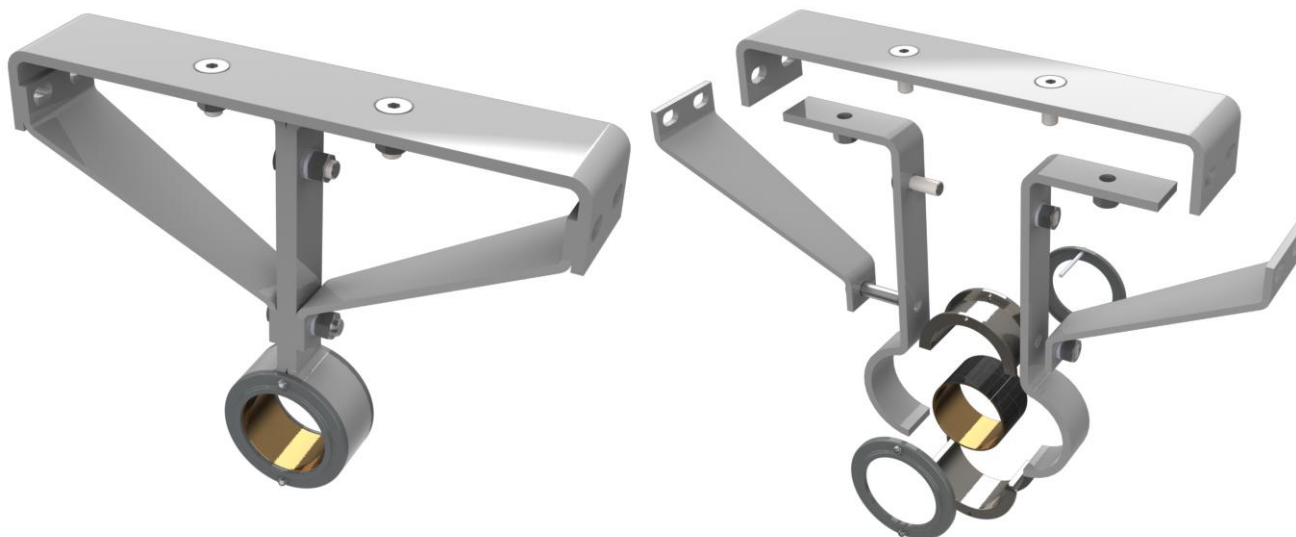
**TLAK V LOŽISKU**

$$p_k = \frac{F_{Rk}}{B_3 \cdot d_3} \quad [\text{MPa}] \quad (34)$$

$$p_k = \frac{2256}{60 \cdot 90}$$

$$p_k = 0,418 \text{ MPa} < p_D = 15 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

kde:  $p_D = 15 \text{ MPa}$  .....tlak dovolený dle [16]



Obr. 22 Konzola s kluzným ložiskem



## 9 PEVNOSTNÍ KONTROLA

### 9.1 KONTROLA ŠNEKOVÉHO HŘÍDELE

Šnekový hřídel je namáhán na krut a ohyb. Z toho důvodu se provede kontrola na bezpečnost vůči vzniku plastických deformací vyjádřených bezpečností  $k$ . Mimo to se provede výpočet maximálního průhybu od vlastní tíhy šneku.

#### 9.1.1 BEZPEČNOST VZHLEDEM K MEZNÍMU STAVU PRUŽNOSTI

##### SÍLA OD TÍHY ŠNEKU

$$F_g = (m_{h3} + m_{š3}) \cdot g \quad [N] \quad (35)$$

$$F_g = (139,5 + 71,2) \cdot 9,81$$

$$F_g = 2067 \text{ N}$$

kde:  $m_{h3} = 139,5 \text{ kg}$  .....hmotnost 3m šnekového hřídele dle vztahu (9)  
 $m_{š3} = 71,2 \text{ kg}$  .....hmotnost 3m šnekovice dle vztahu (16)

##### OHYBOVÝ MOMENT

$$M_o = \frac{F_g \cdot l_3}{2} \cdot \frac{l_3}{2} \quad [Nmm] \quad (36)$$

$$M_o = \frac{2067}{2} \cdot \frac{3000}{2}$$

$$M_o = 1550151 \text{ Nmm}$$

kde:  $l_3 = 3000 \text{ mm}$  .....délka jednoho dílu šneku

##### MODUL PRŮŘEZU V OHYBU

$$W_o = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(D_h^4 - d_h^4)}{D_h} \quad [mm^4] \quad (37)$$

$$W_o = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(114,3^4 - 74,3^4)}{114,3}$$

$$W_o = 120425,2 \text{ mm}^4$$

Vztah (37) dle [3, str. 40], kde:

$D_h = 114,3 \text{ mm}$  .....velký průměr šnekového hřídele

$d_h = 74,3 \text{ mm}$  .....malý průměr šnekového hřídele



**NAPĚTÍ V OHYBU**

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad [MPa] \quad (38)$$

$$\sigma_o = \frac{1550151}{120425,2}$$

$$\sigma_o = 12,87 \text{ MPa}$$

**MODUL PRŮŘEZU V KRUTU**

$$W_k = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{(D_h^4 - d_h^4)}{D_h} \quad [mm^4] \quad (39)$$

$$W_k = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{(114,3^4 - 74,3^4)}{114,3}$$

$$W_k = 240850,4 \text{ mm}^4$$

Vztah (39) dle [3, str. 40]

**NAPĚTÍ V KRUTU**

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \quad [MPa] \quad (40)$$

$$\tau_k = \frac{2458000}{240850,4}$$

$$\tau_k = 10,2 \text{ MPa}$$

kde:  $M_k = 2458000 \text{ Nmm}$  .....hnačí moment viz.  $M_m$  tab. 2, str. 15

**REDUKOVANÉ NAPĚTÍ PODLE TEORIE HMH**

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_k^2} \quad [MPa] \quad (41)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{12,87^2 + 3 \cdot 10,2^2}$$

$$\sigma_{red} = 21,86 \text{ MPa}$$

Vztah (41) dle [4, str. 277]



### BEZPEČNOST VZHLEDEM K MEZNÍMU STAVU PRUŽNOSTI

$$k = \frac{R_e}{\sigma_{red}} \quad [-] \quad (42)$$

$$k = \frac{235}{21,86}$$

$$k = 10,7 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Vztah (42) dle [4, str. 278], kde:

$$R_e = 235 \text{ MPa} \quad \dots \text{mez kluzu pro 1.0308 (11 353) dle [4, str. 1128]}$$

### 9.1.2 PRŮHYB ŠNEKOVÉHO HŘÍDELE

#### OSOVÝ KVADRATICKÝ MOMENT PRŮREZU

$$J_x = \frac{\pi}{64} \cdot (D_h^4 - d_h^4) \quad [mm^4] \quad (43)$$

$$J_x = \frac{\pi}{64} \cdot (114,3^4 - 74,3^4)$$

$$J_x = 6882301 \text{ mm}^4$$

Vztah (43) dle [3, str. 40]

#### MAXIMÁLNÍ PRŮHYB

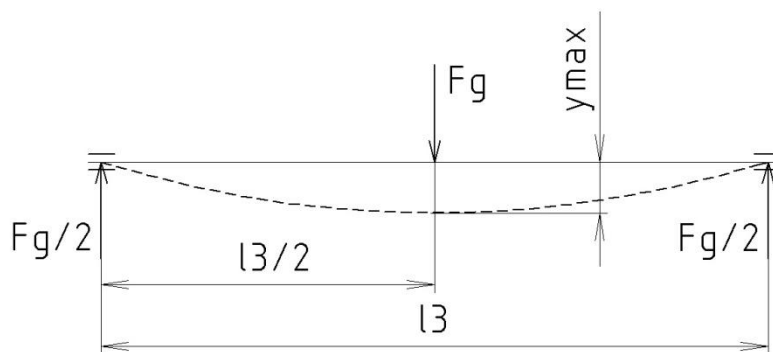
$$y_{max} = \frac{F_g \cdot l_3^3}{48 \cdot E \cdot J_x} \quad [mm] \quad (44)$$

$$y_{max} = \frac{2067 \cdot 3000^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 6882301}$$

$$y_{max} = 0,8 \text{ mm}$$

Vztah (44) dle [3, str. 45], kde:

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa} \quad \dots \text{modul pružnosti v tahu pro ocel dle [3, str. 35]}$$



Obr. 23 Maximální průhyb šnekového hřídele



### 9.1.3 TEPLOTNÍ ROZTAŽNOST

Při provozu dopravníku dochází ke změně teplot, ať už vlivem okolí nebo třením materiálu o pracovní části dopravníku. Vlivem teplotních rozdílů dochází k tepelné délkové roztažnosti materiálu, která má za následek osovou dilataci šneku. Protože šnek je uložen v uzavřeném ložiskovém domečku, ve kterém je mu umožněn axiální posuv, tak je vhodné zjistit velikost této dilatace a zkontrolovat zda-li je v domečku dostatek místa:

$$\Delta l = L \cdot \beta \cdot \Delta t \quad [mm] \quad (45)$$

$$\Delta l = 15000 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot 70$$

$$\Delta l = 12,6 \text{ mm} < 29 \text{ mm} \Rightarrow \text{VYHOVUJE!}$$

Vztah (45) dle [17], kde:

$$\beta = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1} \quad \dots \text{teplotní součinitel délkové roztažnosti dle [3, str. 61]}$$

$$\Delta t = 70 \text{ K} \quad \dots \text{maximální předpokládaný přírůstek teploty}$$

$$l_d = 29 \text{ mm} \quad \dots \text{vůle v ložiskovém domečku}$$

## 9.2 KONTROLA ČEPŮ

Kontrola zahrnuje výpočet zatížení od krouťícího momentu jak na vstupním čepu s perovým spojem, tak i na spojení šnekového hřídele a spojovacího čepu pomocí dvou, k sobě kolmých, čepů s hlavou zajištěných podložkami se závlačkou. Pro kontrolu zda dané části vyhovují je nutné dohledat charakteristiky použitých materiálů a to konkrétně dovozená zatížení. Pro dovozená napětí je uvažováno míjivé zatěžování.

### DOVOLENÁ ZATÍŽENÍ POUŽITÝCH MATERIÁLŮ

- 1.0308 (11 353) – Šnekový hřídel

$$\sigma_{tD}^I = 95 \text{ MPa} \quad \dots \text{dovolené napětí v tahu} \quad \text{dle [3, str. 54]}$$

$$p_D^I = 95 \text{ MPa} \quad \dots \text{dovolené napětí v tlaku} \quad \text{dle [3, str. 54]}$$

$$\sigma_{oD}^I = 165 \text{ MPa} \quad \dots \text{dovolené napětí v ohybu} \quad \text{dle [3, str. 54]}$$

$$\tau_{kD}^I = 95 \text{ MPa} \quad \dots \text{dovolené napětí v krutu} \quad \text{dle [3, str. 55]}$$

Odečteny hodnoty pro ocel 1.0036 (11 373) s podobnými fyzikálními vlastnostmi jako 1.0308 (11 353)

- 1.0060 (11 600) – Vstupní čep, spojovací čep, pero, čep s hlavou

$$\sigma_{tD}^{II} = 165 \text{ MPa} \quad \dots \text{dovolené napětí v tahu} \quad \text{dle [3, str. 54]}$$

$$p_D^{II} = 165 \text{ MPa} \quad \dots \text{dovolené napětí v tlaku} \quad \text{dle [3, str. 54]}$$

$$\sigma_{oD}^{II} = 180 \text{ MPa} \quad \dots \text{dovolené napětí v ohybu} \quad \text{dle [3, str. 54]}$$

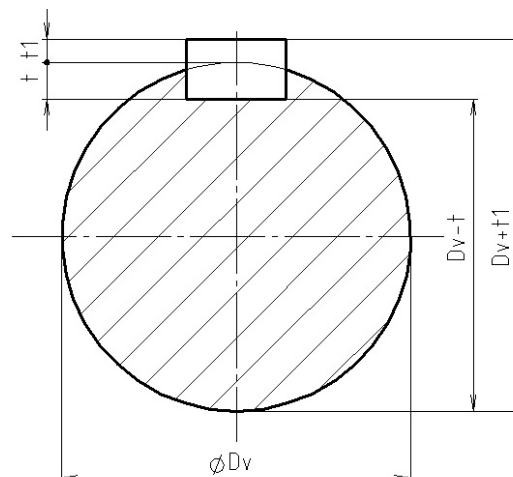
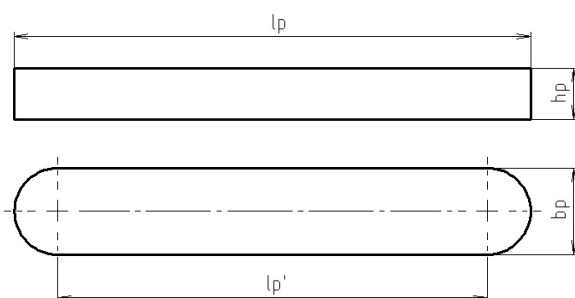
$$\tau_{kD}^{II} = 105 \text{ MPa} \quad \dots \text{dovolené napětí v krutu} \quad \text{dle [3, str. 55]}$$



### 9.2.1 KONTROLA PERA VSTUPNÍHO ČEPU

Pro vstupní čep o průměru  $D_v = 70 \text{ mm}$  zvoleno pero ČSN 20e7 x 12 x 120 dle [3, str. 467] o rozměrech:

$b_p = 20 \text{ mm}$	.....šířka pera
$h_p = 12 \text{ mm}$	.....výška pera
$l_p = 120 \text{ mm}$	.....délka pera
$t_1 = 4,6 \text{ mm}$	.....hloubka drážky v náboji
$t = 7,4 \text{ mm}$	.....hloubka drážky v hřídeli



Obr. 24 Pero těsné

#### KONTROLA NA OTLAČENÍ

$$p_p = \frac{F_p}{S'_p} = \frac{2 \cdot M_k}{D_v \cdot l'_p \cdot t_1} \quad [\text{MPa}] \quad (46)$$

$$p_p = \frac{2 \cdot 2458000}{70 \cdot 100 \cdot 4,6}$$

$$p_p = 152,67 \text{ MPa} < p_D^{II} = 165 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

kde:  $l'_p = (l_p - b_p)$  .....výpočtová délka pera (obr. 24)

#### KONTROLA NA STŘIH

$$\tau_{sp} = \frac{F_p}{S_p} = \frac{2 \cdot M_k}{D_v \cdot \left( \frac{\pi \cdot b_p^2}{4} + l'_p \cdot b_p \right)} \quad [\text{MPa}] \quad (47)$$

$$\tau_{sp} = \frac{2 \cdot 2458000}{70 \cdot \left( \frac{\pi \cdot 20^2}{4} + 100 \cdot 20 \right)}$$

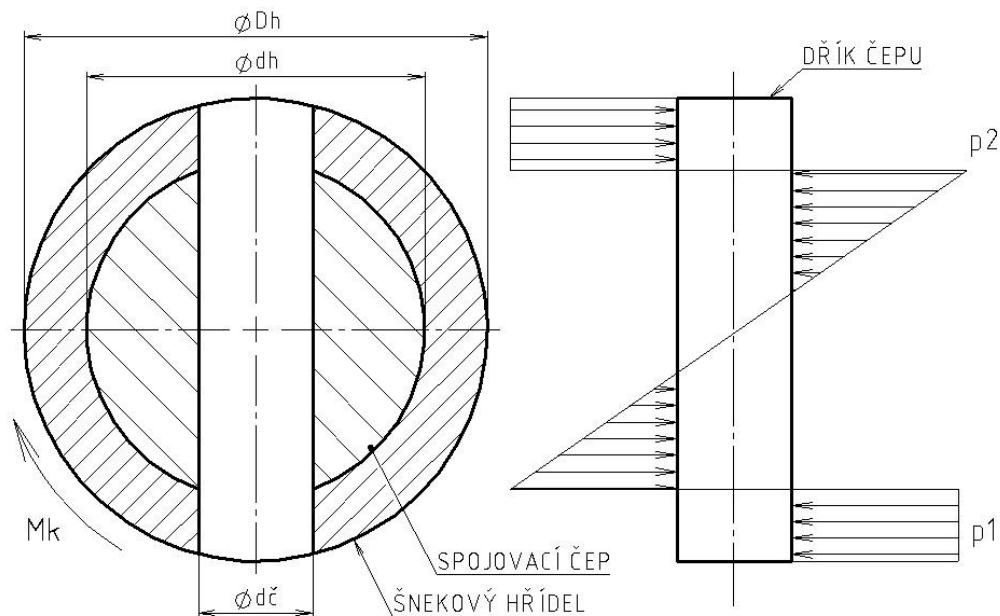
$$\tau_{sp} = 30,35 \text{ MPa} < \tau_{kD}^{II} = 105 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$



## 9.2.2 KONTROLA ČEPOVÉHO SPOJE

Na spojení šnekového hřídele a spojovacího čepu zvolen:

Čep s hlavou ISO 2341 – B – 24 x 140 x 6,3 x 121,5– St dle [3, str. 449]



Obr. 25 Průřez funkční částí čepového spoje

### KONTROLA ČEPU S HLAVOU NA SMYK

$$\tau_{s\check{c}} = \frac{4 \cdot M_k}{\pi \cdot d_{\check{c}}^2 \cdot d_h \cdot n_{\check{c}}} \quad [MPa] \quad (48)$$

$$\tau_{s\check{c}} = \frac{4 \cdot 2458000}{\pi \cdot 24^2 \cdot 74,3 \cdot 2}$$

$$\tau_{s\check{c}} = 36,56 \text{ MPa} < \tau_{kD}^H = 105 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Vztah (48) dle [2, str. 70], kde:

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

### KONTROLA NA OTLAČENÍ SPOJOVACÍHO ČEPU

$$p_1 = \frac{6 \cdot M_k}{d_h^2 \cdot d_{\check{c}} \cdot n_{\check{c}}} \quad [MPa] \quad (49)$$

$$p_1 = \frac{6 \cdot 2458000}{74,3^2 \cdot 24 \cdot 2}$$

$$p_1 = 55,66 \text{ MPa} < p_D^H = 165 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Vztah (49) dle [2, str. 70]

**KONTROLA NA OTLAČENÍ ŠNEKOVÉHO HŘÍDELE**

$$p_2 = \frac{4 \cdot M_k}{d_{\check{c}} \cdot (D_h^2 - d_h^2) \cdot n_{\check{c}}} \quad [MPa] \quad (50)$$

$$p_2 = \frac{4 \cdot 2458000}{24 \cdot (114,3^2 - 74,3^2) \cdot 2}$$

$$p_2 = 27,15 \text{ MPa} < p_D^I = 95 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Vztah (50) dle [2, str. 70]



## ZÁVĚR

Cílem této práce byl koncepční návrh vodorovného šnekového dopravníku pro dopravu drceného kameniva pro zadané parametry. Při výpočtu základních parametrů jsem postupoval podle vhodné literatury a při samotném návrhu jsme bral ohled na normu zabývající se touto problematikou. Technická zpráva obsahuje výpočet hlavních rozměrů, návrh jednak funkčního pohonu se spojkou, tak i návrh uložení šneku. Mimo jiné obsahuje kontrolní výpočet vybraných konstrukčních dílů. Jednotlivé zvolené parametry a navržená řešení se považují za vyhovující, na základě provedených početních kontrol. Pro další rozšíření práce by bylo vhodné vypracovat ekonomickou rozvahu tohoto návrhu. Cíle práce byli splněny a kompletní návrh zařízení je možné vidět v příložené výkresové dokumentaci vycházející z této technické zprávy. Výkresová dokumentace a kompletní modelová sestava, včetně jednotlivých dílců byla vytvořena v programu SolidWorks.



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] GAJDŮŠEK, Jaroslav a Miroslav ŠKOPÁN. Teorie dopravních a manipulačních zařízení. 1. vyd. Brno: rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1988, 277 s.
- [2] KRÍŽ, Rudolf et al. Stavba a provoz strojů I. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1977, 323 s.
- [3] LEINVEBER, Jan. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 2. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2005, 907 s. ISBN 80-736-1011-6.
- [4] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTIUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [5] Screw conveyor STR. *Tummers methodic* [online]. [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <http://www.tummers.nl/imagesproductgroups/schroeftransport-troggen-schroeven.jpg>
- [6] Kamenivo. JIRÁSEK, Jakub a Martin VAVRO. *Nerostné suroviny a jejich využití* [online]. [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/kamenivo.html>
- [7] RAEX OPTIM. *Universal ocel* [online]. [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <http://www.uniocel.cz/html/Raex/Raex2.html>
- [8] Převodovky SIEMENS Řada MOTOX. In: *MOTOR-GEAR: MOTOX Geared Motors SIEMENS* [online]. Germany, 2008 [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: <http://www.motorgear.cz/userfiles/file/motox.pdf>
- [9] Pružná spojka Periflex®. In: *GKN Stromag Brno: Highly-flexible Periflex® shaft couplings* [online]. 2003 [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: [http://www.stromag.cz/cs/f/stromag\\_cs/p/Pru%C5%BEen%C3%A9%20spojky/d800\\_welle.pdf](http://www.stromag.cz/cs/f/stromag_cs/p/Pru%C5%BEen%C3%A9%20spojky/d800_welle.pdf)
- [10] Hmotnosti staviv, výrobků, zemin. In: ŠPONAR, Jiří. *JirkaWeb* [online]. 2009 [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <http://jirkaweb.wz.cz/cvut/tabulka.pdf>
- [11] Spherical roller bearings, on an adapter sleeve. In: *SKF Group* [online]. [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/roller-bearings/spherical-roller-bearings/on-an-adapter-sleeve/index.html?prodid=1550833220&imperial=false>
- [12] Axial load carrying ability. *SKF Group* [online]. [cit. 2013-03-26]. Dostupné z: <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/roller-bearings/spherical-roller-bearings/axial-load-carrying-ability/index.html>





- [13] Deep groove ball bearings, single row. In: *SKF Group* [online]. [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/single-row/index.html?prodid=1050050317&imperial=false>
- [14] Composite dry sliding bushings, metric dimensions. In: *SKF Group* [online]. [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/spherical-plain-bearings-bushings-rod-ends/composite-dry-sliding-bearings-fw-bushings/composite-dry-sliding-bushings-metric/index.html?prodid=1851080901&imperial=false>
- [15] Suchá kluzná ložiska a pouzdra FW. *SKF* [online]. [cit. 2013-03-25]. Obrázek ve formátu GIF. Dostupné z: [http://www.skf.com/skf/productcatalogue/jsp/viewers/imageViewerJs.jsp?image=gl02f02.gif&file=3\\_4\\_1&maincatalogue=1&lang=en](http://www.skf.com/skf/productcatalogue/jsp/viewers/imageViewerJs.jsp?image=gl02f02.gif&file=3_4_1&maincatalogue=1&lang=en)
- [16] Materiály, použití a návrh kluzných ložisek. TECHPARK. *Tribotechnika* [online]. 2008 [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: [http://www.tribotechnika.sk/1-2008/klzne\\_loziska\\_tribotechnika.html](http://www.tribotechnika.sk/1-2008/klzne_loziska_tribotechnika.html)
- [17] Délková teplotní roztažnost. REICHL, Jaroslav. *Encyklopedie fyziky* [online]. [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/634-delkova-teplotni-roztaznost>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$a_{\max}$	[m]	maximální zrnitost
B	[mm]	šířka soudečkového ložiska
$B_3$	[mm]	šířka kluzného ložiska
$b_p$	[mm]	šířka pera
$C_1$	[kN]	dynamická únosnost soudečkového ložiska
$C_2$	[kN]	dynamická únosnost kuličkového ložiska
$C_3$	[kN]	dynamická únosnost kluzného ložiska
$c_H$	[-]	součinitel sklonu dopravníku
D	[m]	průměr šnekovice
d	[mm]	průměr díry soudečkového ložiska
$D'$	[m]	vypočtený průměr šnekovice
$d_3$	[mm]	malý průměr kluzného ložiska
$D_3$	[mm]	velký průměr kluzného ložiska
$d_\xi$	[mm]	průměr čepu s hlavou
$D_h$	[mm]	velký průměr šnekového hřídele
$d_h$	[mm]	malý průměr šnekového hřídele
$D_k$	[m]	minimální průměr šnekovice
$D_v$	[mm]	průměr vstupního čepu pro pero
e	[-]	mezní poměr axiální a radiální síly
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
$F_A$	[N]	axiální síla
$F_{ap}$	[kN]	axiální únosnost soudečkového ložiska
$F_g$	[N]	síla od tíhy šneku
$F_k$	[N]	síla nahrazující spojitě zatížení od materiálu
$f_m$	[-]	součinitel tření mezi materiálem a žlabem
$F_p$	[N]	síla působící na pero
$F_R$	[N]	radiální síla od hmotnosti šneku
$F_{Rk}$	[N]	radiální zatížení kluzných ložisek
$F_{Rv}$	[N]	radiální zatížení valivých ložisek
g	[m.s <sup>-2</sup> ]	tíhové zrychlení
h	[m]	dopravní výška



$h_p$	[mm]	výška pera
$h_s$	[m]	výška příčného průřezu šnekovice
$J_x$	[mm <sup>4</sup> ]	osový kvadratický moment průřezu šnekového hřídele
$k$	[-]	součinitel bezpečnosti vzhledem k meznímu stavu pružnosti
$L$	[m]	dopravní délka
$L_{10h1}$	[hod]	základní trvanlivost soudečkového ložiska
$L_{10h2}$	[hod]	základní trvanlivost kuličkového ložiska
$l_3$	[mm]	délka jednoho dílu šneku
$l_d$	[mm]	vůle v ložiskovém domečku
$l_p$	[mm]	délka pera
$l_p'$	[mm]	výpočtová délka pera
$l_s$	[m]	délka šnekovice na jednom stoupání závitu
$l_v$	[m]	vodorovná dopravní vzdálenost
$m_c$	[kg]	hmotnost šneku celková
$m_h$	[kg]	hmotnost šnekového hřídele
$m_{h1}$	[kg]	hmotnost 1m materiálu šnekového hřídele
$m_{h3}$	[kg]	hmotnost 3m materiálu šnekového hřídele
$M_k$	[N.mm]	kroucí moment ( $M_m$ )
$m_k$	[kg]	hmotnost materiálu v dopravníku
$m_{kč}$	[kg]	hmotnost koncového čepu
$M_m$	[N.m]	výstupní kroucí moment z převodového elektromotoru
$m_o$	[kg]	hmotnost spojovacího materiálu
$M_o$	[N.mm]	ohybový moment šneku
$m_{sč}$	[kg]	hmotnost spojovacího čepu
$m_s$	[kg]	hmotnost šnekovice
$m_{s3}$	[kg]	hmotnost 3m materiálu šnekovice
$m_{vč}$	[kg]	hmotnost vstupního čepu
$n$	[s <sup>-1</sup> ]	otáčky šneku
$n_2$	[min <sup>-1</sup> ]	výstupní otáčky z převodového elektromotoru
$n_č$	[-]	počet čepů s hlavou
$n_u$	[-]	počet úseků na které se rozloží hmotnost šneku
$p$	[-]	mocnitel pro výpočet trvanlivosti ložiska
$P_1$	[N]	dynamické ekvivalentní zatížení soudečkového ložiska



$p_1$	[MPa]	tlak působící na spojovací čep
$P_2$	[N]	dynamické ekvivalentní zatížení kuličkového ložiska
$p_2$	[MPa]	tlak působící na šnekový hřídel
$p_D$	[MPa]	dovolený tlak v kluzném ložisku
$p_D^I$	[MPa]	dovolené napětí v tlaku pro ocel 1.0308
$p_D^{II}$	[MPa]	dovolené napětí v tlaku pro ocel 1.0060
$p_k$	[MPa]	tlak v kluzném ložisku
$P_m$	[kW]	výkon převodového elektromotoru
$P_{min}$	[W]	minimální potřebný výkon
$p_p$	[MPa]	tlak v perovém spoji
$Q$	[t.hod <sup>-1</sup> ]	doprovávané množství
$Q_{vp}$	[m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup> ]	objemový dopravní výkon požadovaný
$Q_{vsk}$	[m <sup>3</sup> .hod <sup>-1</sup> ]	objemový dopravní výkon skutečný
$R$	[m]	poloměr šnekovice
$R_e$	[MPa]	mez kluzu
$r_h$	[m]	poloměr šnekového hřídele
$R_m$	[m]	poloměr mezikruží šnekovice
$R_s$	[m]	účinný poloměr šnekovice
$s$	[m]	stoupání šnekovice
$S_k$	[m <sup>2</sup> ]	průřez dopravovaným materiálem
$S_p$	[mm <sup>2</sup> ]	střížná plocha pera
$S_p^c$	[mm <sup>2</sup> ]	plocha pera na otláčení
$S_s$	[m <sup>2</sup> ]	plocha příčného průřezu šnekovice
$t$	[mm]	hloubka drážky v hřídeli
$t_1$	[mm]	hloubka drážky v náboji
$t_s$	[mm]	tloušťka plechu šnekovice a žlabu
$V_k$	[m <sup>3</sup> ]	objem materiálu v dopravníku
$V_{sč}$	[m <sup>3</sup> ]	objem spojovacího čepu
$V_s$	[m <sup>3</sup> ]	celkový objem šnekovice
$w$	[-]	globální součinitel odporu
$W_k$	[mm <sup>4</sup> ]	modul průřezu v krutu pro šnekový hřídel
$W_o$	[mm <sup>4</sup> ]	modul průřezu v ohybu
$x$	[mm]	maximální zrnitost dopravovaného kameniva



$X_1$	[-]	koeficient radiálního zatížení soudečkového ložiska
$X_2$	[-]	koeficient radiálního zatížení kuličkového ložiska
$Y_1$	[-]	koeficient axiálního zatížení soudečkového ložiska
$Y_2$	[-]	koeficient axiálního zatížení kuličkového ložiska
$y_{\max}$	[mm]	průhyb šnekového hřídele
$z$	[-]	počet závitů šnekovice
$\alpha$	[°]	úhel stoupání šnekovice
$\beta$	[K <sup>-1</sup> ]	teplotní součinitel délkové roztažnosti
$\gamma$	[kg.m <sup>-3</sup> ]	sypná objemová hmotnost
$\Delta$	[%]	rozdíl objemového dopravního výkonu
$\Delta t$	[K]	maximální předpokládaný přírůstek teploty
$\pi$	[-]	Ludolfovo číslo
$\rho_{\text{ocel}}$	[kg.m <sup>-3</sup> ]	hustota oceli
$\sigma_o$	[MPa]	napětí v ohybu šnekového hřídele
$\sigma_{oD}^I$	[MPa]	dovolené napětí v ohybu pro ocel 1.0308
$\sigma_{oD}^{II}$	[MPa]	dovolené napětí v ohybu pro ocel 1.0060
$\sigma_{\text{red}}$	[MPa]	redukované napětí dle teorie HMM
$\sigma_{tD}^I$	[MPa]	dovolené napětí v tahu pro ocel 1.0308
$\sigma_{tD}^{II}$	[MPa]	dovolené napětí v tahu pro ocel 1.0060
$\tau_k$	[MPa]	napětí v krutu šnekového hřídele
$\tau_{kD}^I$	[MPa]	dovolené napětí v krutu pro ocel 1.0308
$\tau_{kD}^{II}$	[MPa]	dovolené napětí v krutu pro ocel 1.0060
$\tau_{sč}$	[MPa]	smykové napětí působící na čep s hlavou
$\tau_{sp}$	[MPa]	smykové napětí působící na pero
$\varphi$	[°]	třecí úhel mezi materiálem a šnekem
$\psi$	[-]	součinitel plnění



## SEZNAM PŘÍLOH

VYOBRAZENÍ CELÉHO ZAŘÍZENÍ P1

### VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

Výkres sestavy	ŠNEKOVÝ DOPRAVNÍK	0-TOCH-00/00
Seznam položek	ŠNEKOVÝ DOPRAVNÍK	4-TOCH-00/00
Výkres svarku	ŽLAB S VÝSYPKOU	2-TOCH-06/00
Seznam položek	ŽLAB S VÝSYPKOU	4-TOCH-06/00
Výkres podsestavy	ULOŽENÍ NA VSTUPU	2-TOCH-00/01
Seznam položek	ULOŽENÍ NA VSTUPU	4-TOCH-00/01
Výkres podsestavy	KLUZNÉ ULOŽENÍ	2-TOCH-00/02
Seznam položek	KLUZNÉ ULOŽENÍ	4-TOCH-00/02
Výkres podsestavy	KONCOVÉ ULOŽENÍ	2-TOCH-00/03
Seznam položek	KONCOVÉ ULOŽENÍ	4-TOCH-00/03

### PŘÍLOHY NA CD

Technická zpráva	Tochacek_J_13_Z.pdf
Výkresová dokumentace	Tochacek_J_13_V.pdf
Modelová sestava	Tochacek_J_13_M.rar



*Vodorovný šnekový dopravník drceného kameniva*