



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

PÁSOVÝ DOPRAVNÍK PRO POTRAVINÁŘSKÉ ZRNO

BELT CONVEYOR FOR FOOD CORN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Homolka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **David Homolka**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

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:

Pásový dopravník pro potravinářské zrno

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výpočet a konstrukční řešení pásového dopravníku pro zadaný materiál.
Dopravní výkon 65 000 kg.h⁻¹.
Osová vzdálenost přesypů 20 m.
Výškový rozdíl 6 m.
Dopravovaný materiál obilní zrno.

Cíle bakalářské práce:

Provedení funkčního výpočtu, určení hlavních rozměrů, návrh pohonu dopravníku a napínání pásu.
Provedení rozboru vlastností dopravovaných materiálů.
Nakreslení sestavného výkresu dopravníku a podsestavy napínacího zařízení.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.).
Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUT IUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.

BIGOŠ, Peter, Jozef KULKA, Melichar KOPAS a Martin MANTIČ. Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 9788055311876.

POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLISKA a Aleš SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení I. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 8024800438.

KOVÁČ, Milan a Vladimír KLAPITA. Manipulácia s materiálom v doprave. 1. vyd. V Žiline: EDIS, 2003. ISBN 8080701741.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 8086490742.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je provést konstrukční řešení šikmého pásového dopravníku pro dopravu potravinářského zrna s dopravním výkonem $65000 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$, osovou vzdáleností přesypů 20 metrů a výškovým rozdílem 6 metrů. Práce obsahuje popis hlavních částí pásového dopravníku, funkční výpočet proveden dle normy ČSN ISO 5048, stanovení základních rozměrů, návrh pohonu a napínacího zařízení pásového dopravníku. V konečné fázi, práce obsahuje rozbor vlastností dopravovaných materiálů. K práci je přiložena výkresová dokumentace.

Summary

The aim of this thesis is to design an angled belt conveyor for transportation of food corn with the capacity of 65,000 kg per hour and axial distance between the drums at both ends of 20 meters and height difference of 6 meters. The thesis includes brief descriptions of individual parts of the conveyor, functional calculation, which is performed according to the current standard ISO 5048, determination of basic dimensions, design of the drive and tensioning device of the conveyor. In its final part, the thesis contains an analysis of the characteristics of transported material. The thesis is accompanied by all the necessary technical drawings.

Klíčová slova

Pásový dopravník, dopravní pás, obilní zrno, válečková stolice, pohon dopravníku, hnáný buben, napínací zařízení.

Keywords

Belt conveyor, conveyor belt, food corn, idler, drive of conveyor, driven drum, tensioning device.

HOMOLKA, D. *Pásový dopravník pro potravinářské zrno*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2019. 35 s. Vedoucí doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Maláška Ph.D. a všechny podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu literatury.

David Homolka

V první řadě patří můj dík doc. Ing. Jiřímu Maláškovi, Ph.D., vedoucímu bakalářské práce, za jeho odborné vedení, trpělivost, cenné rady, postřehy a připomínky. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině, koučce a přátelům za podporu v průběhu celého studia.

David Homolka

Obsah

1	Úvod	3
1.1	Pásové dopravníky	4
1.2	Rozdělení pásových dopravníků	4
1.2.1	Podle tažného elementu	4
1.2.2	Podle tvaru dopravníku	4
1.2.3	Podle provedení nosné konstrukce	4
1.3	Schéma pásového dopravníku	5
2	Pásové dopravníky	7
2.1	Poháněcí buben	7
2.1.1	Parametry pohonu	8
2.1.2	Rozměry elektrobubny	8
2.2	Poháněný buben	8
2.3	Dopravní pás	8
2.4	Nosná konstrukce	9
2.4.1	Nosný rám	9
2.4.2	Stojny	10
2.5	Napínací zařízení	10
2.6	Válečková stolice	11
2.6.1	Horní větev	11
2.6.2	Dolní větev	11
2.7	Stěrače pásu	12
2.8	Násypka	12
3	Funkční výpočet pásového dopravníku	13
3.1	Sklon dopravníku	13
3.2	Volba jmenovité rychlosti dopravního pásu	13
3.3	Teoretická plocha průřezu dopravovaného materiálu	14
3.4	Volba pásu	14
3.5	Plocha průřezu dopravovaného materiálu	14
3.5.1	Plocha průřezu náplně S_1	15
3.5.2	Plocha průřezu náplně S_2	15
3.6	Skutečné dopravované množství	15
3.6.1	Součinitel sklonu	15
3.6.2	Součinitel korekce vrchlíku	16
3.7	Kontrola dopravovaného množství materiálu	16
3.8	Objemová výkonnost	16
3.9	Obvodová síla potřebná na poháněcím bubnu	16
3.9.1	Hlavní odpory	16

3.9.2	Hmotnost 1 metru dopravního pásu	17
3.9.3	Hmotnost nákladu na 1 metr délky	17
3.9.4	Vedlejší odpory	18
3.9.5	Odpor ohybu pásu na bubnech	18
3.9.6	Odpor v ložiskách hnacího bubnu	19
3.9.7	Přídavné vedlejší odpory	19
3.9.8	Potřebný provozní výkon poháněcího bubnu	20
3.9.9	Potřebný provozní výkon motoru	20
3.10	Síly v pásu	20
3.10.1	Pevnostní kontrola pásu	22
4	Rozbor vlastností dopravovaného materiálu	25
4.1	Mechanické vlastnosti sypkého materiálu	25
4.1.1	Zrnitost	25
4.1.2	Vlhkost	25
4.1.3	Měrná objemová a sypná hmotnost	26
4.1.4	Sypný úhel	26
4.1.5	Úhel vnitřního a vnějšího tření	26
4.1.6	Soudržné napětí	27
4.1.7	Napěťový stav sypkého tělesa	27
5	Závěr	29
6	Seznam použitých zkratk a symbolů	33
7	Seznam příloh	35

Kapitola 1

Úvod

Bakalářská práce se zabývá výpočtem a konstrukčním řešením pásového dopravníku pro zadaný materiál. Požadovaný dopravní výkon 65 000kg.h⁻¹. Osová vzdálenost přesypů 20 m. Rozdíl výšky 6 m. Dopravovaným materiálem je obilné zrno.

Cíle bakalářské práce jsou:

- Provedení funkčního výpočtu.
- Určení hlavních rozměrů.
- Návrh pohonu dopravníku a napínání pásu.
- Provedení rozboru vlastností dopravovaných materiálů
- Nakreslení sestavného výkresu dopravníku a podsestavy napínacího zařízení.

1.1. Pásové dopravníky

„Pásové dopravníky jsou zařízení určená ke kontinuální dopravě sypkých látek i kusového zboží a to převážně ve vodorovném, příp. mírně šikmém směru.“ [1]

Prvkem zajišťujícím přesun dopravovaného materiálu je dopravní pás. Hlavními přednostmi tohoto způsobu přepravy materiálu jsou: vysoký dopravní výkon, vysoká dopravní rychlost, velké dopravní vzdálenosti, jednoduchá údržba, jednoduchá konstrukce, nízká spotřeba energie.

1.2. Rozdělení pásových dopravníků

Rozdělení dopravníků dle[1]

1.2.1. Podle tažného elementu

- a) dopravníky s gumovým pásem nebo pásem PVC
- b) dopravníky s ocelovým pásem
- c) dopravníky s celogumovým pásem
- d) dopravníky s pásem z drátěného pletiva

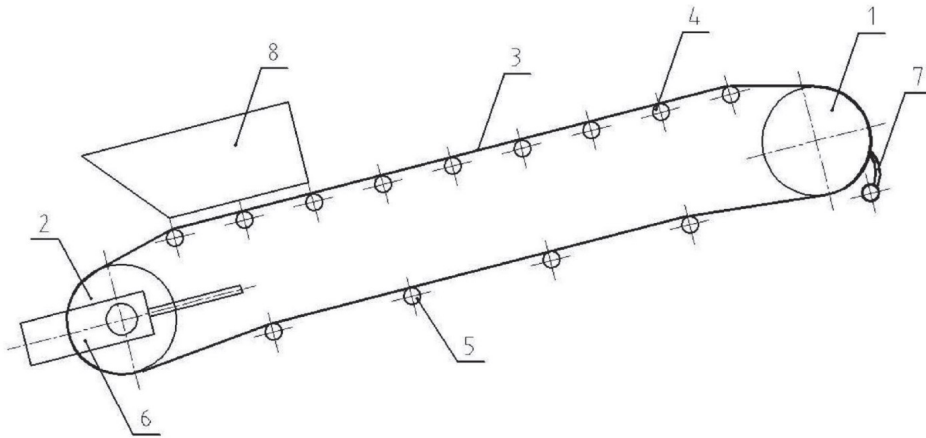
1.2.2. Podle tvaru dopravníku

- a) dopravníky vodorovné
- b) dopravníky šikmé
- c) dopravníky konvexní (přechod ze šikmého směru na vodorovný)
- d) dopravníky konkávní (přechod z vodorovného směru na šikmý)
- e) dopravníky kombinované (např. s dvojitou změnou směru – kombinace konkávního a konvexního)

1.2.3. Podle provedení nosné konstrukce

- a) dopravníky stabilní – ocelová konstrukce je pevně spojena se základem
- b) dopravníky pojízdné a přenosové – pro malé dopravní množství a malé dopravní délky
- c) dopravníky přestavitelné – pro vysoké dopravní rychlosti a velké dopravní délky

1.3. Schéma pásového dopravníku



Obrázek 1.1: Schéma pásového dopravníku. [5]

1. Hnací buben
2. Hnaný buben
3. Dopravní pás
4. Nosné válečky - horní válečková stolice
5. Nosné válečky - dolní válečková stolice
6. Napínací zařízení
7. Čistící zařízení
8. Násypka s bočním vedením

1.3. SCHÉMA PÁSOVÉHO DOPRAVNÍKU

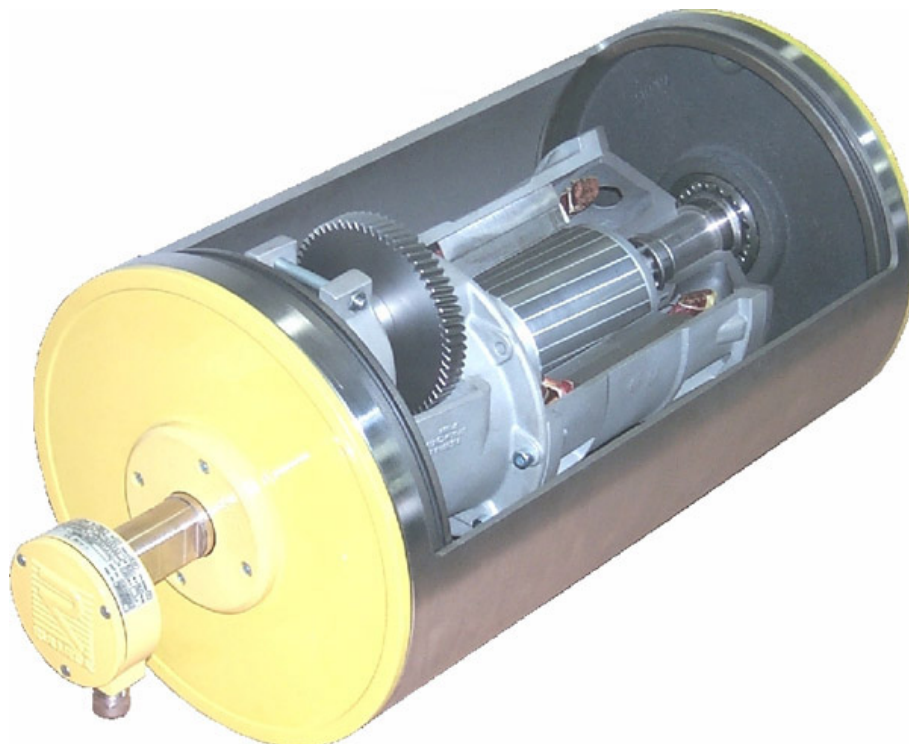
Kapitola 2

Pásové dopravníky

2.1. Poháněcí buben

Přeměňuje točivý moment pohonu na tažnou sílu v dopravním pásu. Přeměna je zajištěna třením mezi povrchem bubnu a dopravním pásem. Hnací bubny bývají umístěny na přepadové straně dopravníku. Okraje bubnů mohou být zkoseny, toto zkosení slouží k samovystředění pásu během provozu. [3], [4]

Na základě výpočtu potřebného výkonu byl zvolen buben o výkonu 5,5kW, vyráběný společností Rulmeca viz obr. 2.1. Jde o buben s označením 320M, jehož průměr je $d_1 = 320mm$ a délka je $RL = 750mm$ [6]



Obrázek 2.1: Elektro buben Rulmeca 320M [6]

2.2. POHÁNĚNÝ BUBEN

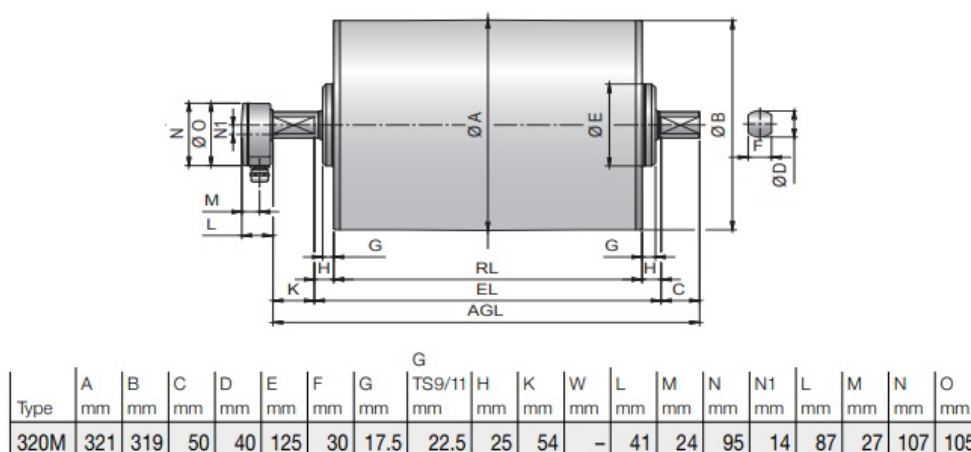
2.1.1. Parametry pohonu

dle [6]

- Výkon 5,5/7,5 [kW/HP]
- Točivý moment 418 [N · m]
- Tah v pásu 2604 [N]
- Točivý moment 418 [N · m]
- Dovolené zatížení 20000 [N]

2.1.2. Rozměry elektrobubnu

Základní rozměry elektrobubnu jsou zakótovány na obr.2.2



Obrázek 2.2: Rozměry elektrobubnu [6]

2.2. Poháněný buben

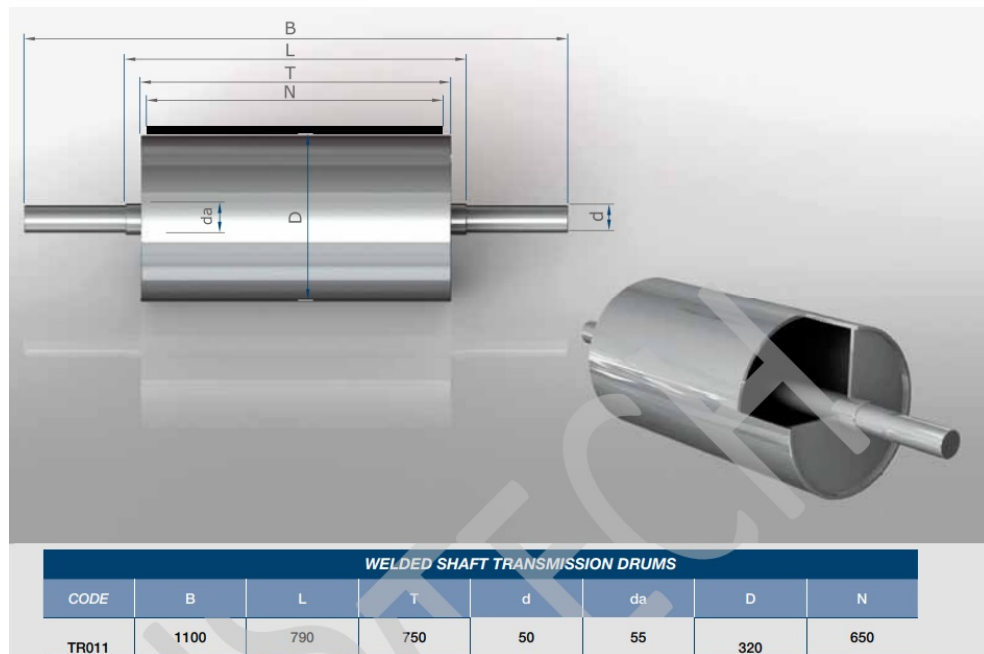
Pohánění (vratný) buben mění směr pohybu pásu a je konečným článkem dopravníku na vratném konci. [3] Buben je konstruován jako svarek. Zvolený buben je vyráběný společností FISATECH, jeho označení je TR011. [7] Jeho základní rozměry jsou zakótovány v obr.2.3

V tomto konstrukčním řešení má pohánění buben i funkci napínacího bubnu.

2.3. Dopravní pás

Nekonečný prvek, který plní funkci nesení materiálu, břemen a osob na dopravní délce a současně plní také funkci tažného prvku, který přenáší všechny pohybové odpory vznikající při jeho oběhu. Nosná kostra je obvykle složena z textilních vložek (polyamid, polyester apod.) Dopravní pás je zhotoven z gumy nebo PVC. V případě většího zatížení je kostra tvořena vysokopevnostními ocelovými lankami. [3]

Pro tento dopravník byl zvolen dopravní pás od firmy Techbelt. [11]



Obrázek 2.3: Rozměry hnaného bubnu [mm] [2]

Specifikace pásu

Krycí vrstva pásu je vyrobena z PVC. Vložka je textilní, třívrstvá. Mez pevnosti pásu je 300 N/mm. Pracovní zatížení při 1% prodloužení je 30 N/mm. [11]

2.4. Nosná konstrukce

Nosná konstrukce tvoří trať pásového dopravníku mezi vratným a výsypným bubnem. Jsou na ní uchyceny válečkové stolice. Tvořena je podélným nosníkem z I profilu, válečkovými stolicemi s podpěrnými válečky v horní a spodní větvi. Nosná konstrukce sestává z článků trati, které se navzájem spojují šrouby. Umístění válečkových stolic na nosné konstrukci viz obr. 2.4.

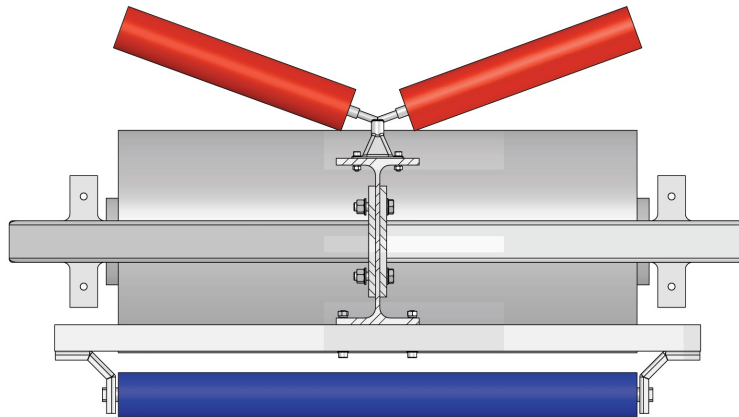
2.4.1. Nosný rám

Nosná trať je tvořena I profilem s označením IPE240. [8] Základní informace o rozměru najdeme v tab. 2.1.

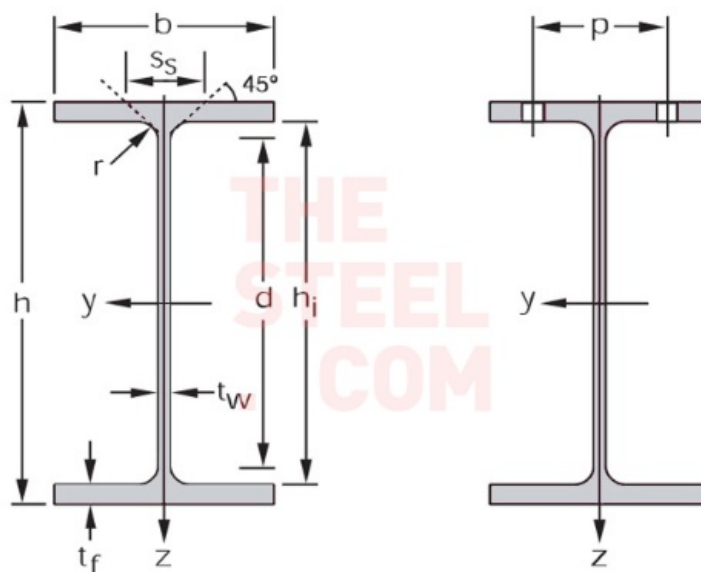
Hmotnost na jednotku délky	37 kg/m
Výška profilu	$h = 240 \text{ mm}$
Šířka profilu	$b = 120 \text{ mm}$
Tloušťka stojny	$t_w = 6,2 \text{ mm}$
Příruba	$t_f = 9,8 \text{ mm}$

Tabulka 2.1: Základní rozměry profilu IPE240 [8]

2.5. NAPÍNACÍ ZAŘÍZENÍ



Obrázek 2.4: Řez konstrukcí dopravníku.



Obrázek 2.5: Rozměry I profilu IPE240. [8]

2.4.2. Stojny

Dopravník je podepřený čtyřmi stojny, které jsou konstruovány jako příhradová konstrukce. Konstrukce je tvořena z profilů U80 ČSN 42 5570 a výpalků P 10 ČSN 42 5301.21 [10]

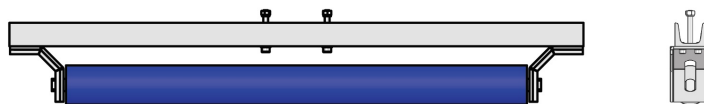
2.5. Napínací zařízení

Napínací zařízení slouží k vytvoření předpětí dopravního pásu. Toto předpětí je nutné pro vznik tření mezi pásem a hnacím bubnem. Dostatečně předpnutý pás zamezí prokluzu a nadměrnému průhybu pásu mezi válečky. [2]

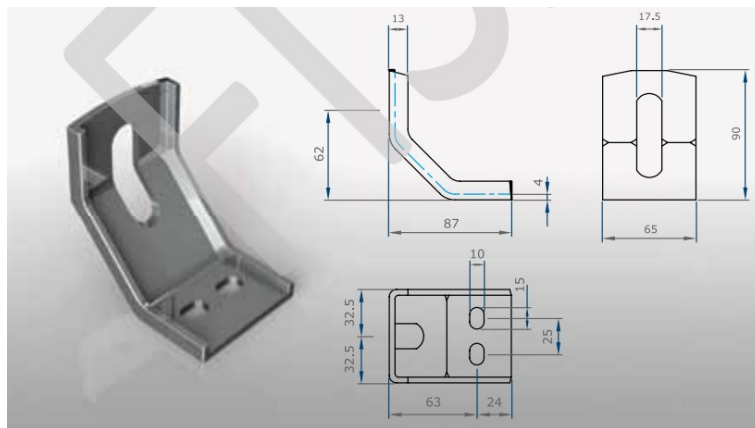
Navržené napínací zařízení (obr.2.6) umožňuje přesun napínacího válce až o 400mm, což odpovídá 2% z délky dopravníku. Hnaný válec je zde uložen v ložiskových domcích C-UCT210 D1 NTN. [13] Konstrukce byla tvořena jako svarek z polotovarů níže. [10]

- profil: U50 ČSN 42 5570 a L40 x 5 ČSN 42 5541
- TYČ PLOCHÁ 20 x 16 Z ČSN 42 5522.01 a výpalky P 10 ČSN 42 5301.21

2.7. STĚRAČE PÁSU



Obrázek 2.8: Dolní válečková stolice. [9]



Obrázek 2.9: Držák dolního válečku. [9]

2.7. Stěrače pásu

Stěrač pásu slouží k čištění pásu za chodu dopravníku. Zvolen byl čelní stěrač, z polyuretanu určený pro potravinářství, CJ PU FDA (obr.2.10) od firmy Techbelt [11]



Obrázek 2.10: Stěrač pásu CJ-PU-FDA. [11]

2.8. Násypka

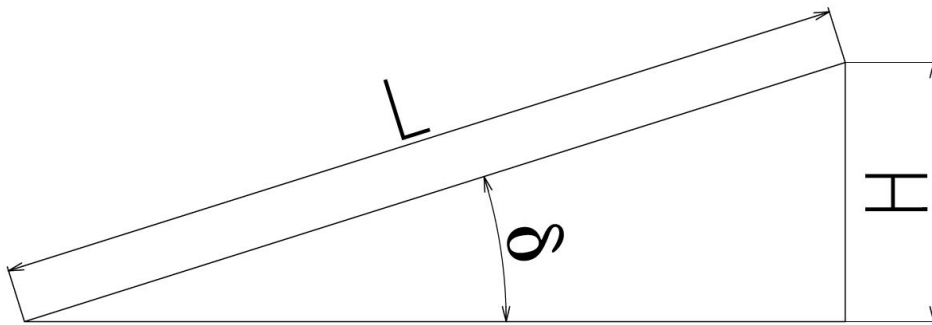
Násypka slouží pro vedení dopravovaného materiálu při vstupu na pás. Těsnost mezi násypkou a pásem zajišťuje pás z pryže doléhající těsně k dopravníkovému pásu.

Kapitola 3

Funkční výpočet pásového dopravníku

Výpočet byl proveden, podle normy ČSN EN 5048 [15]

3.1. Sklon dopravníku



Obrázek 3.1: Sklon dopravníku.

$$\sin \delta = \frac{H}{L} \quad (3.1)$$

$$\delta = \arcsin \frac{H}{L} = \arcsin \frac{6}{20}$$

$$\delta \doteq 17,5^\circ$$

3.2. Volba jmenovité rychlosti dopravního pásu

- rychlost $v = (2,5 - 4) m \cdot s^{-1}$ dle[1]
- zvolená rychlost $v = 2,5 m \cdot s^{-1}$

3.3. TEORETICKÁ PLOCHA PRŮŘEZU DOPRAVOVANÉHO MATERIÁLU

3.3. Teoretická plocha průřezu dopravovaného materiálu

- objemová sypaná hmotnost $\rho = (400 - 800)kg \cdot m^{-3}$ dle[15]
- voleno $\rho = 500kg \cdot m^{-3}$
- zvolená rychlost $v = 2,5m \cdot s^{-1}$
- sypaný úhel $\alpha = 20^\circ$

$$S_T = \frac{Q}{\rho \cdot v \cdot 3600} \quad (3.2)$$

$$S_T = \frac{65000}{500 \cdot 2,5 \cdot 3600}$$

$$S_T = 0,0144m^2$$

3.4. Volba pásu

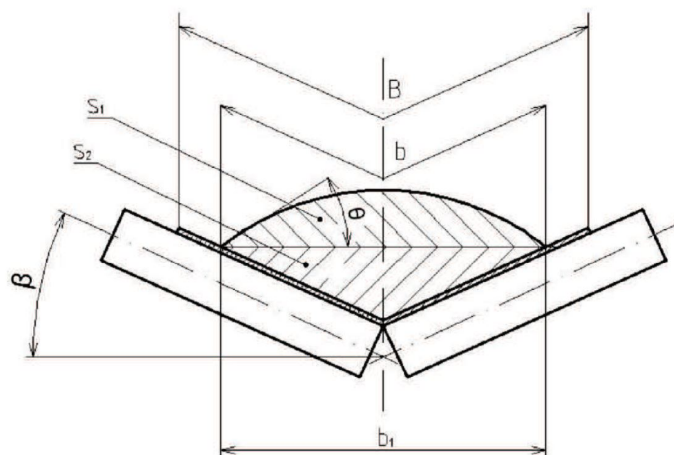
- dle teoretického průřezu náplně 3.3 je zvolena šířka pásu $B = 650$ dle [1]
- sklon bočních válečků podle vybrané válečkové stolice $\beta = 20^\circ$ dle [9]

3.5. Plocha průřezu dopravovaného materiálu

$$S = S_1 + S_2 \quad (3.3)$$

$$S = 0,0113 + 0,023$$

$$S = 0,0343m^3$$



Obrázek 3.2: Průřez korýtkového pásu. [5]

3.5.1. Plocha průřezu náplně S_1

$$S_1 = (b \cdot \cos\beta)^2 \cdot \frac{tg\vartheta}{6} \quad (3.4)$$

$$S_1 = (0,535 \cdot \cos 20^\circ)^2 \cdot \frac{tg 15^\circ}{6}$$

$$S_1 = 0,0113m^2$$

Využitelná ložná šířka pásu

$$b = 0,9 \cdot B - 0,05 \quad (3.5)$$

$$b = 0,9 \cdot 0,65 - 0,05$$

$$b = 0,535m$$

Dynamický sypný úhel

$$\vartheta = 0,75 \cdot \alpha \quad (3.6)$$

$$\vartheta = 15^\circ$$

3.5.2. Plocha průřezu náplně S_2

$$S_2 = \left(\frac{b}{2} \cdot \cos\beta\right) \cdot \left(\frac{b}{2} \cdot \sin\beta\right) \quad (3.7)$$

$$S_2 = \left(\frac{0,535}{2} \cdot \cos 20^\circ\right) \cdot \left(\frac{0,535}{2} \cdot \sin 20^\circ\right)$$

$$S_2 = 0,023m^2$$

3.6. Skutečné dopravované množství

$$Q_{skut} = 3600 \cdot S \cdot v \cdot \rho \cdot k \quad (3.8)$$

$$Q_{skut} = 3600 \cdot 0,0343 \cdot 2,5 \cdot 500 \cdot 0,765$$

$$Q_{skut} = 118077kg \cdot h^{-1}$$

3.6.1. Součinitel sklonu

$$k = 1 - \frac{S_1}{S} \cdot (1 - k_1) \quad (3.9)$$

$$k = 1 - \frac{0,0113}{0,0343} \cdot (1 - 0,26)$$

$$k = 0,765$$

3.6.2. Součinitel korekce vrchlíku

$$k_1 = \sqrt{\frac{\cos^2 \delta - \cos^2 \vartheta}{1 - \cos^2 \vartheta}} \quad (3.10)$$

$$k_1 = \sqrt{\frac{\cos^2 14,5 - \cos^2 15}{1 - \cos^2 15}}$$

$$k_1 = 0,26$$

3.7. Kontrola dopravovaného množství materiálu

Musí být splněna podmínka $Q_{skut} \geq Q$

$$118077 \text{kg} \cdot \text{h}^{-1} \geq 65000 \text{kg} \cdot \text{h}^{-1} \quad (3.11)$$

Množství dopravovaného materiálu vyhovuje.

3.8. Objemová výkonnost

$$I_V = S \cdot v \cdot k \quad (3.12)$$

$$I_V = 0,0343 \cdot 2,5 \cdot 0,765$$

$$I_V = 0,0656 \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

3.9. Obvodová síla potřebná na poháněcím bubnu

$$F_U = F_H + F_N + F_{S2} + F_{St} \quad (3.13)$$

$$F_U = 112,48 + 137,8 + 321,7 + 901$$

$$F_U = 1472 \text{N}$$

3.9.1. Hlavní odpory

- globální součinitel tření $f = 0,02$ dle [15]

$$F_H = f \cdot L \cdot g \cdot [q_{RO} + q_{RU} + (2 \cdot q_B + q_G) \cdot \cos \delta] \quad (3.14)$$

$$F_H = 0,02 \cdot 20 \cdot 9,81 \cdot [5 + 1,28 + (2 \cdot 5 + 13,12) \cdot \cos 14,5^\circ]$$

$$F_H = 112,48 \text{N}$$

Hmotnost rotujících částí válečků na 1 metr délky v horní větvi

$$q_{RO} = \frac{2 \cdot q_1 \cdot P_1}{L} \quad (3.15)$$

$$q_{RO} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 25}{20}$$

$$q_{RO} = 5 \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

Počet válečkových stolic v horní větvi

- rozteč os válečků zvolena $a_u = 0,8m$ dle [1]

$$P_1 = \frac{L}{a_u} \quad (3.16)$$

$$P_1 = \frac{20}{0,8}$$

$$P_1 = 25$$

Hmotnost rotujících částí válečků na 1 metr délky v dolní větvi

$$q_{RU} = \frac{q_2 \cdot P_2}{L} \quad (3.17)$$

$$q_{RU} = \frac{3,6 \cdot 7}{20}$$

$$q_{RU} = 1,26kg \cdot m^{-1}$$

Počet válečkových stolic v dolní větvi

- rozteč os válečků zvolena $a_u = 2,8m$ dle [1]

$$P_2 = \frac{L}{a_u} \quad (3.18)$$

$$P_2 = \frac{20}{2,8}$$

$$P_2 = 7$$

3.9.2. Hmotnost 1 metru dopravního pásu

$$q_B = B \cdot m_p \quad (3.19)$$

$$q_B = 0,65 \cdot 7,7$$

$$q_B = 5kg \cdot m^{-1}$$

3.9.3. Hmotnost nákladu na 1 metr délky

$$q_G = \frac{I_V \cdot \rho}{v} \quad (3.20)$$

$$q_G = \frac{0,0656 \cdot 500}{2,5}$$

$$q_G = 13,12kg \cdot m^{-1}$$

3.9. OBVODOVÁ SÍLA POTŘEBNÁ NA POHÁNĚCÍM BUBNU

3.9.4. Vedlejší odpory

$$\begin{aligned}F_N &= F_{bA} + F_f + F_O + F_t \\F_N &= 82 + 17,2 + 24,6 + 2,5 \\F_N &= 137,8N\end{aligned}\tag{3.21}$$

Odpor setrvačných sil v místě nakládání a v oblasti urychlování

$$\begin{aligned}F_{bA} &= I_V \cdot \rho \cdot (v - v_0) \\F_{bA} &= 0,0656 \cdot 500 \cdot (2,5 - 0) \\F_{bA} &= 82N\end{aligned}\tag{3.22}$$

Odpor tření mezi dopravovanou hmotou a bočním vedením v oblasti urychlování

- součinitel tření mezi materiálem a bočním vedením $\mu_2 = 0,5 - 0,7$ dle [15]
- voleno $\mu_2 = 0,6$

$$\begin{aligned}F_f &= \frac{\mu_2 \cdot I_V^2 \cdot \rho \cdot g \cdot l_b}{\left(\frac{v+v_0}{2}\right)^2 \cdot b_1^2} \\F_f &= \frac{0,6 \cdot 0,0656^2 \cdot 500 \cdot 9,81 \cdot 0,531}{\left(\frac{2,5+0}{2}\right)^2 \cdot 0,5^2} \\F_f &= 17,2N\end{aligned}\tag{3.23}$$

Urychlovací délka

- součinitel tření mezi materiálem a pásem $\mu_1 = 0,5 - 0,7$ dle [15]
- voleno $\mu_1 = 0,6$

$$\begin{aligned}l_b &= \frac{v^2 - v_0^2}{2 \cdot g \cdot \mu_1} \\l_b &= \frac{2,5^2 - 0^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,6} \\l_b &= 0,531m\end{aligned}\tag{3.24}$$

3.9.5. Odpor ohybu pásu na bubnech

$$\begin{aligned}F_O &= 9 \cdot B \cdot \left(140 + 0,01 \cdot \frac{F}{B}\right) \cdot \frac{d}{d_1} \\F_O &= 9 \cdot 0,65 \cdot \left(140 + 0,01 \cdot \frac{5000}{0,65}\right) \cdot \frac{0,0062}{0,32} \\F_O &= 24,6N\end{aligned}\tag{3.25}$$

3.9.6. Odpor v ložiskách hnacího bubnu

$$F_t = 9 \cdot B \cdot \left(140 + 0,01 \cdot \frac{F}{B} \right) \cdot \frac{d}{d_1} \quad (3.26)$$

$$F_t = 0,005 \cdot \frac{0,03}{0,32} \cdot 5000$$

$$F_t = 2,5N$$

3.9.7. Přídavné vedlejší odpory

$$F_{S_2} = F_{gL} + F_r + F_a \quad (3.27)$$

$$F_{S_2} = 9,7 + 312 + 0$$

$$F_{S_2} = 321,7N$$

Odpor tření mezi dopravovanou hmotou a bočním vedením

- délka bočního vedení násypky $l = 1,2m$

$$F_{gL} = \frac{\mu_2 \cdot I_V^2 \cdot \rho \cdot g \cdot l}{v^2 \cdot b_1^2} \quad (3.28)$$

$$F_{gL} = \frac{0,6 \cdot 0,0656^2 \cdot 500 \cdot 9,81 \cdot 1,2}{v^2 \cdot b_1^2}$$

$$F_{gL} = 9,7N$$

Odpor stěrače pásu

- tlak mezi čističem pásu a pásem $p = (3 \cdot 10^4 - 10 \cdot 10^4)N \cdot m^{-2}$ [15]
- voleno $p = 4 \cdot 10^4 N \cdot m^{-2}$
- součinitel tření mezi pásem a čističem pásu $\mu_3 = (0,5 - 0,7)$ [15]
- voleno $\mu_3 = (0,5 - 0,7)$ [15]

$$F_r = A \cdot p \cdot \mu_3 \quad (3.29)$$

$$F_r = 0,013 \cdot 4 \cdot 10^4 \cdot 0,6$$

$$F_r = 312N$$

Dotyková plocha mezi stěračem a pásem

$$A = B \cdot t_c \quad (3.30)$$

$$A = 0,65 \cdot 0,02$$

$$A = 0,013m^2$$

3.10. SÍLY V PÁSU

Odpor shrnovače materiálu

- shrnovač nebyl použit

Odpor pro překonání dopravní výšky

$$\begin{aligned}F_{St} &= q_G \cdot H \cdot g & (3.31) \\F_{St} &= 13,12 \cdot 6 \cdot 9,81 \\F_{St} &= 901N\end{aligned}$$

3.9.8. Potřebný provozní výkon poháněcího bubnu

$$\begin{aligned}P_A &= F_u \cdot v & (3.32) \\P_A &= 1537 \cdot 2,5 \\P_A &= 3843W\end{aligned}$$

3.9.9. Potřebný provozní výkon motoru

- celková účinnost elektropohonu $\eta = 0,85 - 0,95$ dle [15]
- voleno $\eta = 0,9$

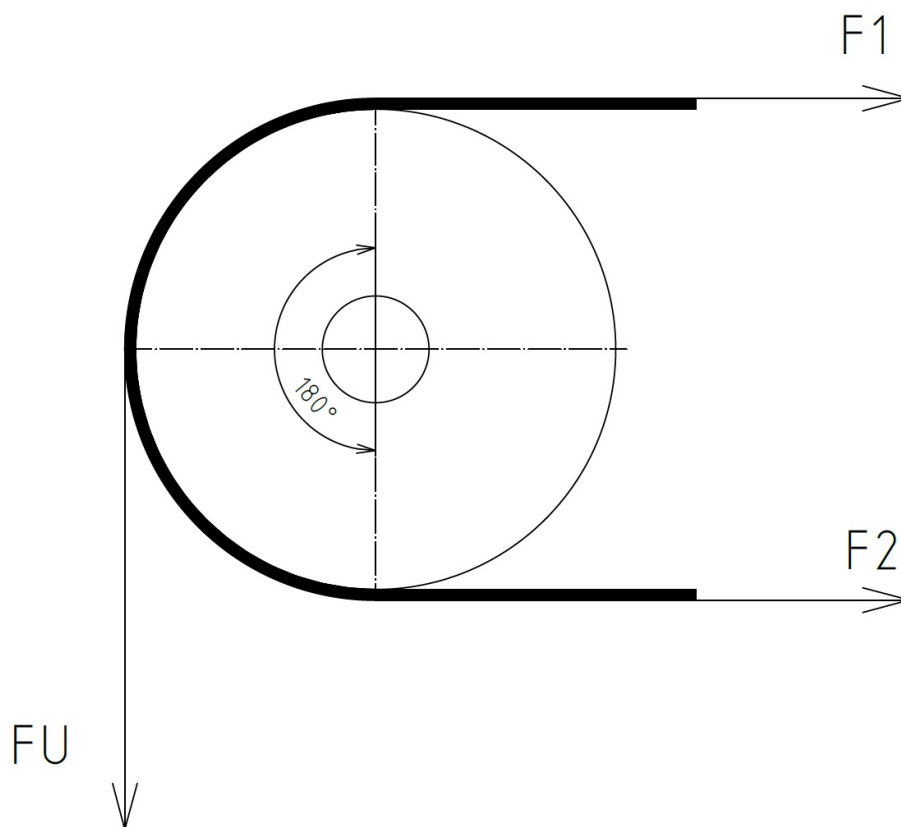
$$\begin{aligned}P_M &= \frac{P_A}{\eta} & (3.33) \\P_M &= \frac{3843}{0,9} \\P_M &= 4270W\end{aligned}$$

3.10. Síly v pásu

Přenos obvodové síly na poháněcím bubnu

- součinitel tření mezi poháněcím bubnem a pásem $\mu = (0,35 - 0,4)$ dle [15]
- voleno $\mu = 0,35$
- úhel opásání $\varphi = (160 - 240)^\circ$ dle [15]
- voleno $\varphi = 180^\circ$

$$\begin{aligned}F_{2min} &\geq F_{Umax} \cdot \frac{1}{e^{\mu \cdot \xi} - 1} & (3.34) \\F_{2min} &\geq 2944 \cdot \frac{1}{e^{0,35 \cdot \pi} - 1} \\F_{2min} &\geq 1470N\end{aligned}$$



Obrázek 3.3: Tahové síly působící v pásu.

Maximální obvodová hnací síla

- součinitel rozběhu $\xi = (1,3 - 2)$ dle [15]
- voleno $\xi = 2$

$$F_{Umax} = \xi \cdot F_U \quad (3.35)$$

$$F_{Umax} = 2 \cdot 1472$$

$$F_{Umax} \geq 2944N$$

Nejmenší tah v pásu pro horní větev s ohledem na průvěs

- největší dovolený průvěs pásu $(h/a)_{adm} = (0,005 - 0,02)$ dle [15]
- voleno $(h/a)_{adm} = 0,01$

$$F_{hmin} \geq \frac{a_0 \cdot (q_B + q_G) \cdot g}{8 \cdot (h/a)_{adm}} \quad (3.36)$$

$$F_{hmin} \geq \frac{800 \cdot (5 + 13,12) \cdot 9,81}{8 \cdot 0,01}$$

$$F_{hmin} \geq 1777,6N$$

3.10. SÍLY V PÁSU

Nejmenší tah v pásu pro dolní větev s ohledem na průvės

$$\begin{aligned} F_{dmin} &\geq \frac{a_u \cdot q_B \cdot g}{8 \cdot (h/a)_{adm}} & (3.37) \\ F_{dmin} &\geq \frac{2800 \cdot 5 \cdot 9,81}{8 \cdot 0,01} \\ F_{dmin} &\geq 1761,2N \end{aligned}$$

3.10.1. Pevnostní kontrola pásu

- pevnost pásu $R_{mP} = 400MPa$ dle [15]

$$\begin{aligned} F_{Dp} &\geq F_{max} & (3.38) \\ R_{mp} \cdot B &\geq F_{max} \\ 400 \cdot 650 &\geq 4609N \\ 260000 &\geq 4609N \end{aligned}$$

Navržený pás vyhovuje

Největší tah v pásu

$$\begin{aligned} F_{max} &\approx F_1 \approx F_U \cdot \xi \left(\frac{1}{e^{\mu \cdot \varphi} - 1} + 1 \right) & (3.39) \\ F_{max} &\approx F_1 \approx 1472 \cdot 2 \cdot \left(\frac{1}{e^{0,35 \cdot \pi} - 1} + 1 \right) \\ F_{max} &\approx 4414N \end{aligned}$$

Síla v nosné větvi

$$\begin{aligned} F_1 &\approx F_{max} & (3.40) \\ F_1 &\approx 4414N \end{aligned}$$

Síla ve vratné větvi

$$\begin{aligned} F_2 &= \frac{F_1}{e^{\mu \cdot \varphi}} & (3.41) \\ F_2 &= \frac{4414}{e^{0,35 \cdot \pi}} \\ F_2 &= 1470N \end{aligned}$$

3. FUNKČNÍ VÝPOČET PÁSOVÉHO DOPRAVNÍKU

Velikost napínací síly

$$\begin{aligned}F_{nap} &= 2 \cdot (F_2 - q_B \cdot H \cdot g) & (3.42) \\F_{nap} &= 2 \cdot (1470 - 5 \cdot 6 \cdot 9,81) \\F_{nap} &= 2351N\end{aligned}$$

Výsledná síla působící na buben

$$\begin{aligned}F_C &= F_1 + F_2 & (3.43) \\F_C &= 4414 + 1470 \\F_C &= 5884N\end{aligned}$$

3.10. SÍLY V PÁSU

Kapitola 4

Rozbor vlastností dopravovaného materiálu

4.1. Mechanické vlastnosti sypkého materiálu

Z hlediska konstrukce a provozu dopravních zařízení jsou důležité následující parametry materiálu dle [2]

- a) zrnitost
- b) vlhkost
- c) měrná, objemová a sypná hmotnost
- d) sypný úhel
- e) úhel vnitřního a vnějšího tření
- f) soudržné napětí
- g) napěťový stav sypkého tělesa

4.1.1. Zrnitost

Zrnitost rozřídí sypký materiál do skupin podle průměrné velikosti zrna, tab. 4.1. [14]

4.1.2. Vlhkost

„Vlhkost je definována jako obsah vody ve vzorku v procentech hmotnosti“ [2]
Tento parametr ovlivňuje nalepování či namrzání dopravovaného materiálu. V průběhu skladování i zpracování se obsah vody v materiálu mění.

4.1. MECHANICKÉ VLASTNOSTI SYPKÉHO MATERIÁLU

Velikost zrna (mm)	Kategorie zrnitosti materiálu
< 0,05	jemně práškovitý
0,05 ÷ 0,5	práškovitý
0,5 ÷ 1	jemně zrnitý
1 ÷ 5	středně zrnitý
5 ÷ 10	hrubo zrnitý
10 ÷ 50	drobno kusovitý
50 ÷ 150	středně kusovitý
150 ÷ 200	hrubo kusovitý
> 200	velmi hrubo kusovitý až balvanitý

Tabulka 4.1: Klasifikace sypkých hmot podle zrnitosti.[14]

4.1.3. Měrná objemová a sypná hmotnost

- dle [2]

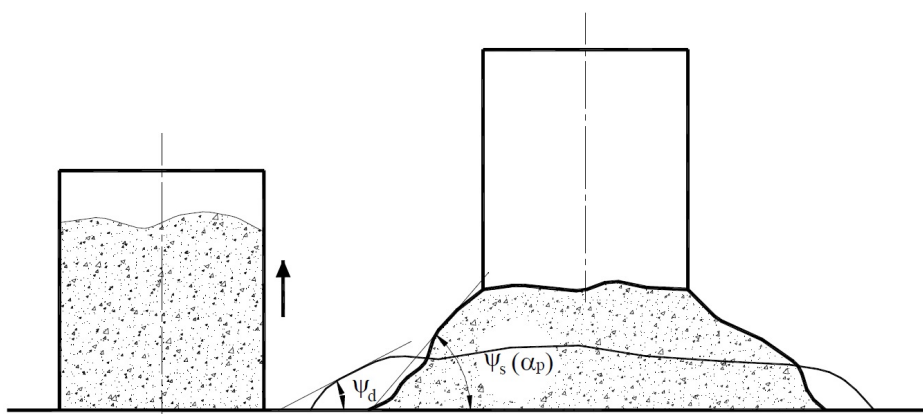
Měrná hmotnost ρ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] je hmotnost objemové jednotky tuhé substance zrn materiálu. Zjišťuje se po rozemletí materiálu na velikost zrna menší než 0,125 mm a zahřátí na 105-110 °C.

Objemová hmotnost ρ_v [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] je hmotnost objemové jednotky materiálu v rostlém stavu, tj. s jeho dutinami a póry.

Sypná hmotnost ρ_{sv} [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] je hmotnost objemové jednotky rozpojeného, volně sypného materiálu, tj. materiálu ve stavu, ve kterém se dopravuje.

4.1.4. Sypný úhel

Přirozený sypný úhel (klidový) ψ_s s je úhel, který svírá tečna ke svahu volně nasypného materiálu s vodorovnou rovinou. Dá se demonstrovat pozvolným zvedáním válcové nádoby bez dna, naplněné sypkým materiálem obr.4.1. [2]



Obrázek 4.1: Znázornění měření úhlu přirozeného svahu sypké hmoty vysypáním z válcové nádoby. [2]

4.1.5. Úhel vnitřního a vnějšího tření

Úhel vnitřního tření φ zahrnuje tření mezi jednotlivými zrny materiálu. U téhož materiálu závisí na normálovém tlaku a na míře konsolidace materiálu. S rostoucím vertikálním napětím σ_1 úhel vnitřního tření sypké hmoty roste. Úhel vnějšího tření je úhlem, při kterém sypký materiál začíná klouzat po podložce a je třeba odlišovat úhel vnějšího tření:

- za klidu $\nu = \mu$, kde μ je součinitel vnějšího tření za klidu;
- za pohybu $\nu_d = \mu_d$, kde μ_d je součinitel vnějšího tření za pohybu [2]

4.1.6. Soudržné napětí

Soudržnost sypkých hmot je jedna z jejich základních vlastností. Jedná se o schopnost přenášet vnitřním třením nejen smyková a tlaková namáhání, ale i malá tahová a krutová namáhání. [2]

4.1.7. Napěťový stav sypkého tělesa

Sypký materiál volně ložený nebo uložený v zásobníku vytváří tzv. sypké těleso, které podléhá napěťovému stavu. [2]

4.1. MECHANICKÉ VLASTNOSTI SYPKÉHO MATERIÁLU

Kapitola 5

Závěr

V této práci byly zpracovány všechny body jejího zadání. Z konstrukčního hlediska se jedná o jednoduchou koncepci. Mojí snahou bylo navrhnout zařízení, které bude sestávat z co možná nejjednodušších dílů a nakupovaných komponent. Toho bylo docíleno zejména nosnou konstrukcí z profilu IPE a nákupem jak hnaného tak hnacího bubnu i válečkových stolic.

Součástí práce je výkres sestavy dopravníku a podsestavy napínacího zařízení.



Obrázek 5.1: Navržený pásový dopravník.

Literatura

- [1] GAJDŮŠEK, Jaroslav a Miroslav ŠKOPÁN. I. *Teorie dopravních a manipulačních zařízení*. 1. vyd. Brno: VUT v Brně, 1988. 277s. ISBN 1524
- [2] POLÁK, J., J. PAVLISKA a A. SLÍVA. *Dopravní a manipulační zařízení I.* 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. 106s. ISBN 80-248-0043-8
- [3] POLÁK, J., K. BAILOTTI, J. PAVLISKA a L. HRABOVSKÝ. *Dopravní a manipulační zařízení II.* 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2003. 104s.
- [4] DRAŽAN, František, Věra VOŠTOVÁ, Karel JEŘÁBEK a Milan BRAND. *Teorie a stavba dopravníků*. první vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1983
- [5] TŮMA, M. *Pásový dopravník pro dopravu potravinářského zrna*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 65 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.
- [6] Motorized Pulley 320L, 320M 320H, Rulmeca Rollers. Oggetto spostatato [online]. Copyright © 2013 Rulmeca [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <<https://www.rulmeca.com/en/>>
- [7] Poháněné a vratné bubny, Fisatech. [online]. Copyright © 2017 Fisatech [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <<http://www.fisatech.cz/wp-content/uploads/2017/09/pohaneci-bubny.pdf>>
- [8] Nosníky IPE S235JR+AR (+M) / 1.0038 koupit online. *thesteel.com, Träger, Bleche, Rohre, Profile, Armaturen, Pumpen, Installationssysteme, und mehr - thesteel.com* [online]. Copyright © ALL RIGHTS RESERVED 2019 [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <<https://www.thesteel.com/cz/sortiment/nosniky>>
- [9] Pražce, Fisatech. [online]. Copyright © 2017 Fisatech [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <<http://www.fisatech.cz/wp-content/uploads/2017/09/valeckove-jednotky.pdf>>
- [10] LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2005, 907 s. ISBN 80-736-1011-6.
- [11] Dopravní pásy, E-plast [online]. [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <http://www.e-plast.cz/esbelt/dopr_pasy_souhrn.htm>
- [12] Stěrače dopravních pásů, Techbelt - dopravníky, dopravní pásy, servis. Techbelt - dopravníky, dopravní pásy, servis [online]. Copyright © [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <<https://www.dopravnipasy.com/sterace-dopravnich-pasu>>

LITERATURA

- [13] Ložiska, ELO TOMAN, [online]. Copyright © [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <<https://www.elotechnik.cz/loziskova-jednotka-c-uct210-d1-ntn.html#zalozka-2>>
- [14] BIGOŠ, Peter, Jozef KULKA, Melichar KOPAS a Martin MANTIČ. *Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení*. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 9788055311876.
- [15] ČSN ISO 5048. *Zařízení pro plynulou dopravu nákladů: Pásové dopravníky s nosnými válečky*. Praha: Český normalizační institut, 1993.

Kapitola 6

Seznam použitých zkratek a symbolů

$(h/a)_{adm}[-]$	největší dovolený průvės pásu
$A[m^2]$	dotyková plocha mezi čističem pásu a pásem
$a_o[m]$	rozteč horních válečkových stolic
$a_u[m]$	rozteč dolních válečkových stolic
$a_u[m]$	rozteč os válečků
$B[m]$	šířka dopravního pásu
$B[m]$	využitá ložná šířka pásu
$b_1[m]$	světlná šířka bočního vedení
$d[mm]$	tloušťka pásu
$d_1[m]$	průměr bubnu
$f[-]$	globální součinitel tření
$F[N]$	tah pásu na bubnu
$F_1[N]$	síla v nosné větvi
$F_2[N]$	síla ve vratné větvi
$F_{2min}[N]$	minimální tahová síla v dolní větvi
$F_a[N]$	odpor shrnovače materiálu
$F_{dmin}[N]$	nejmenší tah v pásu pro dolní větev s ohledem na průvės
$F_{Dp}[N]$	dovolená síla v pásu
$F_f[N]$	odpor tření mezi dopravovanou hmotou a bočním vedením
$F_{gL}[N]$	odpor tření mezi dopravovanou hmotou a bočním vedením
$F_H[N]$	hlavní odpory
$F_{hmin}[N]$	nejmenší tah v pásu pro horní větev s ohledem na průvės
$F_{max}[N]$	maximální tahová síla v pásu
$F_N[N]$	vedlejší odpory
$F_{nap}[N]$	napínací síla
$F_O[N]$	odpor ohybu pásu na bubnech
$F_r[N]$	odpor stěrače pásu
$F_{S1}[N]$	přídavné hlavní odpory
$F_{S2}[N]$	přídavné vedlejší odpory
$F_{St}[N]$	odpor pro překonání dopravní výšky
$F_U[N]$	obvodová síla potřebná na poháněcím bubnu
$F_{Umax}[N]$	maximální obvodová hnací síla
$g[m \cdot s^{-2}]$	tíhové zrychlení
$H[m]$	výškový rozdíl
$I_V[m^3 \cdot s^{-1}]$	objemová výkonnost
$K[-]$	součinitel sklonu

$k_1[-]$ součinitel korekce vrchlíku
 $L[m]$ osová vzdálenost přesypů
 $l[m]$ délka bočního vedení násypky
 $l_b[m]$ urychlovací délka
 $m_m[kg]$ hmotnost přepravovaného materiálu
 $m_p[kg]$ hmotnost dopravního pásu
 $m_v[kg]$ hmotnost válečků
 $P[N \cdot m^{-2}]$ tlak mezi čističem pásu a pásem
 $P_1[-]$ počet válečkových stolic v horní větvi
 $P_2[-]$ počet válečkových stolic v dolní větvi
 $P_A[W]$ potřebný provozní výkon poháněcího bubnu
 $Q[kg \cdot h^{-1}]$ dopravní výkon
 $q_B[kg \cdot m^{-1}]$ hmotnost 1 metru dopravního pásu
 $q_G[kg \cdot m^{-1}]$ hmotnost nákladu na 1 metr délky
 $q_{RO}[kg \cdot m^{-1}]$ hmotnost rotujících částí válečků na 1 metr délky v horní větvi
 $q_{RU}[kg \cdot m^{-1}]$ hmotnost rotujících částí válečků na 1 metr délky v dolní větvi
 $Q_{skut}[kg \cdot h^{-1}]$ skutečné dopravované množství
 $R_{mp}[MPa]$ pevnost pásu v tahu
 $S[m^2]$ plocha průřezu dopravovaného materiálu
 $S_1[m^2]$ plocha vrchlíku
 $S_2[m^2]$ plocha korýtky
 $S_T[m^2]$ teoretická plocha průřezu dopravovaného materiálu
 $V[m \cdot s^{-1}]$ jmenovitá rychlost dopravníku
 $\alpha[^\circ]$ sypný úhel
 $\beta[^\circ]$ úhel sklonu bočních válečků
 $\delta[^\circ]$ úhel sklonu dopravníku
 $\eta[-]$ účinnost elektropohonu
 $\Theta[^\circ]$ dynamický sypný úhel
 $\mu_0[-]$ součinitel tření mezi nosnými válečky a pásem
 $\mu_1[-]$ součinitel tření mezi materiálem a pásem
 $\mu_2[-]$ součinitel tření mezi materiálem a bočním vedením
 $\mu_3[-]$ součinitel tření mezi pásem a čističem pásu
 $\xi[-]$ součinitel rozběhu
 $\rho[kg \cdot h^{-3}]$ objemová sypná hmotnost
 $\varphi[^\circ]$ úhel opásání

Kapitola 7

Seznam příloh

- Výkres sestavy dopravníku
- Seznam položek dopravníku
- Výkres napínací stanice
- Seznam položek napínací stanice
- CD s elektronickou verzí bakalářské práce a přílohami.