

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta strojní**

**Institut dopravy**

**Návrh zařízení pro objemové plnění pytlů zemědělskými  
komoditami**

**Design of Equipment for Volume Filling Bags with  
Various Agricultural Commodities**

**Student:**

**Lukáš Tichý**

**Vedoucí bakalářské práce:**

**Ing. Robert Brázda, Ph.D.**

**Ostrava 2017**

# Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Tichý**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: 2302R003 Dopravní stroje a manipulace s materiálem

Téma: **Návrh zařízení pro objemové plnění pytlů zemědělskými komoditami**  
**Design of Equipment for Volume Filling Bags with Various Agricultural Commodities**

Jazyk vypracování: čeština

## Zásady pro vypracování:

Navrhněte zařízení pro objemové plnění vybraných pytlů zemědělskými komoditami.

Cíle závěrečné práce jsou definovány následovně:

1. Vypracujte rešerši možných principů plnění pytlů a vaků.
2. Vypracujte variantní konstrukční řešení zařízení pro objemové plnění pytlů.
3. Nakreslete sestavný výkres, včetně výkresů pro výrobu a montáž zvolené varianty.
4. Zařízení navrhněte pro objemové plnění pytlů těchto rozměrů:
  - a) 50 x 80 [cm]
  - b) 56 x 110 [cm]
  - c) 56 x 125 [cm]
5. Přípojné rozměry zařízení k zásobníku vhodně zvolte.
6. Proveďte potřebné technologické a pevnostní výpočty.

## Seznam doporučené odborné literatury:

Polák, J., Pavliska, J., Slíva, A.: Dopravní a manipulační zařízení I. Ostrava: ES VŠB-TU Ostrava, 2001, ISBN 80-248-0043-8

Polák, J., Bailotti, K., Pavliska, J., Hrabovský, L.: Dopravní a manipulační zařízení II. Ostrava: ES VŠB-TU Ostrava, 2003, ISBN 80-248-0493-X

Polák, J., Slíva, A.: Dopravní a manipulační zařízení III. Ostrava: ES VŠB-TU Ostrava, 2005, ISBN 80-248-0963-X

Pavliska, J., Hrabovský, L.: Dopravní a manipulační zařízení IV. Ostrava: ES VŠB-TU Ostrava, 2004, ISBN 80-248-0537-5

ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory. srpen 1997. 36 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Robert Brázda, Ph.D.**

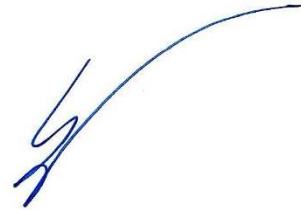
Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



---

doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry



---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřisežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: .....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Lukáš Tichý

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Vaňkova 50/1012

700 30, Ostrava

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

TICHÝ, L. *Návrh zařízení pro objemové plnění pytlů zemědělskými komoditami: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2017, 67 stran, Vedoucí práce: Ing. Brázda Robert. Ph.D.

Předmětem této bakalářské práce je variantní návrh plnicího zařízení pro objemové plnění pytlů zemědělskými komoditami. Úvodní část této bakalářské práce je věnována popisu možných variant objemového plnění pytlů zemědělskými komoditami. Následující část obsahuje technologické výpočty a variantní návrh konstrukce zařízení, využívající se pro objemové plnění pytlů, o velikosti 50x80 cm, 56x80 cm a 56x110 cm, kukuřicí, pšenicí a sójovými boby. Dalšími kroky jsou: pevnostní kontrola zatěžovaných součástí, výběr vhodných komponent a variantní výpočet dopravního výkonu daného plnicího zařízení. Výsledný návrh zařízení pro objemové plnění pytlů zemědělskými komoditami je dokumentován ve výkresové části této bakalářské práce.

Klíčová slova: objemové plnění pytlů, plnicí zařízení, klapkový podavač, solenoidní ventil, pneumaticky ovládaná klapka

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

TICHY, L. *Design of Equipment for Volume Filling Bags with Various Agricultural Commodities: Bachelor Thesis*. Ostrava: VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transportation, 2017, 67 pages, Thesis head: Ing. Robert Brazda, Ph.D.

The subject of this bachelor thesis is a variant design of a filling device for filling bags with agricultural commodities. The introductory part of this bachelor thesis is devoted to description of possible variants of volume filling of bags with agricultural commodities. The following part contains technological calculations and a variant design of the device used for volume bags filling, size 50x80 cm, 56x80 cm and 56x110 cm, with corn, wheat and soya. The next steps are: strength analysis of loaded components, selection of suitable components and variant calculation of the transport capacity of the filling equipment. The

resulting design of the device for the volume filling of bags with agricultural commodities is documented in the drawing part of this bachelor thesis.

Keywords: volume bag filling, filling device, damper feeder, solenoid valve, pneumatically operated flap

**Obsah**

Seznam použitých značek a symbolů.....	11
Úvod .....	18
1 Rešerše.....	19
1.1 Podavače sypkých hmot .....	19
1.1.1 Klapkový podavač.....	19
1.1.2 Podavač šoupátkový.....	21
1.1.3 Rotační (turniketový) podavač.....	23
1.1.4 Podavač šnekový.....	25
1.1.5 Pásový podavač.....	27
1.2 Pytle a vaky.....	28
1.2.1 Papírové pytle.....	28
1.2.2 Jutové pytle.....	28
1.2.3 Polypropylenové pytle.....	29
1.2.4 Vaky.....	29
2 Stanovení objemu dávkovaného materiálu.....	31
2.1 Výběr a výpočet počet přibližné velikosti polypropylenových pytlů.....	31
2.1.1 Výpočet přibližného maximálního objemu pytle 50x80 cm .....	31
2.1.2 Výpočet přibližného maximálního objemu pytle 56x110 cm.....	31
2.1.3 Výpočet přibližného maximálního objemu pytle 56x125 cm.....	32
2.2 Výpočet objemu vybraných zemědělských komodit při konstantní hmotnosti .....	32
2.2.1 Porovnání vypočtených objemů jedné dávky a objemů pytlů.....	33
3 Návrh konstrukce plnicího zařízení .....	35
3.1 Výběr průměru posunovaného tubusu.....	37
3.2 Výběr vhodné dolní klapky .....	38
3.3 Návrh výsyvky.....	38
3.4 Výpočet horního (statického) tubusu .....	39
3.5 Výběr vhodné horní klapky.....	40



3.6 Zajištění hygienické nezávadnosti .....	40
3.6.1 Výpočet hmotnosti nátěru .....	40
3.7 Návrh vymežovacího prvku .....	41
3.8 Výpočet a výběr vhodného průměru závitových tyčí .....	42
3.8.1 Stanovení maximální síly působící na jednu závitovou tyč .....	42
3.8.2 Výpočet maximální Janssenovy síly působící na dolní část.....	42
3.8.3 Výpočet minimálního průměru závitové tyče .....	43
3.9 Výpočet a výběr vhodné aretační matice.....	44
3.9.1 Výpočet potřebné výšky matice.....	44
3.10 Aretační prvek .....	45
3.10.1 Pevnostní výpočet aretačního prvku .....	45
3.11 Zvedání/ spouštění posuvného tubusu .....	46
3.11.1 Nastavení přesného objemu .....	46
3.12 Výběr vhodného rukávce.....	47
4 Elektronické a pneumatické komponenty zařízení .....	48
4.1 Pneumatický pohon ovládaný solenoidním ventilem .....	48
4.2 Akumulátor .....	49
4.2.1 Výpočet spotřeby energie jednoho solenoidního ventilu .....	49
4.2.2 Výběr akumulátoru .....	49
4.2.3 Výběr vhodné nabíječky .....	49
4.3 Výpočet a výběr vhodného kompresoru a vzdušníku .....	50
4.3.1 Maximální spotřeba vzduchu.....	50
4.3.2 Výběr vhodného vzdušníku .....	50
4.3.3 Výběr vhodného kompresoru .....	50
4.4 Ovládací tlačítko.....	51
4.5 Návrh zařízení při použití hladinového limitního spínače .....	51
4.6 Návrh zařízení při posunu za pomoci pneumatických válců .....	52
5 Výpočet dopravního výkonu navrhovaného zařízení .....	54

5.1 Výpočet přibližné rychlosti vysypávání materiálu .....	54
5.2 Doba otevření/zavření klapky.....	56
5.3 Doba vysypání materiálu o objemu pytle 50x80 cm.....	56
5.4 Celková doba naplnění pytle 50x80 cm, bez použití automatizovaného ovládání klapky .....	56
5.5 Celková doba naplnění pytle 50x80 cm, s použitím automatizovaného ovládání klapky .....	57
5.6 Doba vysypání materiálu o objemu pytle 56x110 a 56x125 cm .....	58
5.7 Celková doba naplnění pytle 56x110 a 56x125 cm, bez použití automatizovaného ovládání klapky .....	58
5.8 Celková doba naplnění pytle 56x110 a 56x125 cm, s použitím automatizovaného ovládání klapky .....	59
5.9 Přehled hodnot výsledného dopravního výkonu .....	60
5.10 Doba posunování tubusu .....	60
5.11 Výpočet dopravního výkonu instalované varianty .....	61
6 Závěr.....	62
7 Seznam použité literatury .....	65
8 Seznam příloh .....	67

**Seznam použitých značek a symbolů**

<b>Označení veličiny</b>	<b>Název veličiny</b>	<b>Jednotka</b>
$1.1 \cdot h_2$	výška dolního tubusu	[m]
$a$	účinná výška svaru	[m]
$b$	šířka aretačního prvku	[m]
$b_{RP}$	pracovní šířka jedné lopatky	[m]
$c_{c_1}$	celková spotřeba stlačeného vzduchu za hodinu	[m <sup>3</sup> ·hod <sup>-1</sup> ]
$c_{0_{85}}$	spotřeba stačeného vzduchu pneumatického pohonu Valbia 85 při otevření	[m <sup>3</sup> ]
$c_{0_{115}}$	spotřeba stačeného vzduchu pneumatického pohonu Valbia 115 při otevření	[m <sup>3</sup> ]
$c_{z_{85}}$	spotřeba stačeného vzduchu pneumatického pohonu Valbia 85 při zavírání	[m <sup>3</sup> ]
$c_{z_{115}}$	spotřeba stačeného vzduchu pneumatického pohonu Valbia 115 při zavírání	[m <sup>3</sup> ]
$d$	velký průměr závitu M20	[m]
$D_1$	vnitřní průměr horního tubusu, průměr horní klapky	[m]
$d_2$	střední průměr závitu M20	[m]
$D_2$	vnitřní průměr dolního tubusu	[m]
$d_3$	malý průměr závitu M20	[m]
$D_3$	vnitřní průměr výsypky, průměr dolní klapky	[m]
$d_3'$	minimální malý průměr závitu závitové tyče	[m]
$D_s$	průměr šnekovnice	[m]
$d_v$	průměr výpustného otvoru	[m]
$f$	koeficient vnitřního tření	[-]
$F_0$	síla působící na rychloupínací matici	[N]
$F_j$	Janssenova síla	[N]
$F_{p1}$	síla působící na jeden šroub příruby	[N]
$F_s$	síla působící na aretační prvek	[N]
$g$	gravitační zrychlení	[m·s <sup>-2</sup> ]
$h$	minimální výška aretační matice	[m]
$h_{r_{25}}$	vzdálenost rysky od hrany statického tubusu při dávkování pytlů o nosnosti 25 kg	[m]

$h_{r50}$	vzdálenost rysky od hrany statického tubusu při dávkování pytlů o nosnosti 50 kg	[m]
$h_1$	výška horního tubusu	[m]
$H_1$	nosná hloubka závitů	[m]
$h_2$	zaplněná výška tubusu	[m]
$h_3$	výška výsyvky	[m]
$I$	elektrický proud	[A]
$i_{RP}$	počet lopatek na dávkovacím kole	[-]
$i_s$	počet závitových tyčí	[-]
$J_y$	kvadratický moment do roviny nosného průřezu svaru	[m <sup>4</sup> ]
$k$	koeficient sypnosti	[-]
$k_3$	převodní součinitel svarového spoje (namáhání ohybem)	[-]
$k_4$	převodní součinitel svarového spoje (namáhání smykem)	[-]
$k_d$	koeficient dynamický	[-]
$k_o$	koeficient závěsu	[-]
$k_s$	koeficient statické bezpečnosti	[-]
$k_\beta$	součinitel korekce	[-]
$k_\varphi$	součinitel zaplnění	[-]
$l$	délka svaru	[m]
$M$	výška rychloupínací matice AMF M20	[m]
$m_2$	hmotnost dolního tubusu	[kg]
$m_{25}$	nosnost pytle 50x80 cm, hmotnost dávkovaného materiálu do pytle 50x80 cm	[kg]
$m_3$	hmotnost výsyvky	[kg]
$m_{50}$	nosnost pytle 56x80 a 56x110 cm, hmotnost dávkovaného materiálu do pytle 56x80 a 56x110 cm	[kg]
$m_N$	hmotnost antikorozního nátěru	[kg]
$M_o$	ohybový moment	[N·m]
$m_{PT}$	hmotnost všech posunovaných částí	[kg]
$n_c$	celkový počet posunutí	[-]
$n_{RP}$	počet otáček bubnu rotačního podavače	[s <sup>-1</sup> ]
$n_\xi$	otáčky šneku šnekového podavače	[s <sup>-1</sup> ]

$n_z$	počet posunutí dolního tubusu za jednu hodinu	$[hod^{-1}]$
$P$	rozteč závitu M20	$[m]$
$p_D$	dovolený tlak v závitech matice	$[Pa]$
$P_h$	stoupání závitu M20	$[m]$
$P_{SV}$	výkon pneumatického pohonu	$[W]$
$Q_{150}$	dopravní výkon při dávkování materiálu přes klapku o průměru 150 mm	$[m^3 \cdot hod^{-1}]$
$Q_{250}$	dopravní výkon při dávkování materiálu přes klapku o průměru 250 mm	$[m^3 \cdot hod^{-1}]$
$Q_{C_1}$	dopravní výkon při plnění pytlů 50x80 cm, bez použití automatizovaného ovládání, obsluha jedním zaměstnancem	$[m^3 \cdot hod^{-1}]$
$Q_{C_2}$	dopravní výkon při plnění pytlů 50x80 cm, bez použití automatizovaného ovládání, obsluha dvěma zaměstnanci	$[m^3 \cdot hod^{-1}]$
$Q_{C_3}$	dopravní výkon při plnění pytlů 56x110 a 56x125 cm, bez použití automatizovaného ovládání, obsluha jedním zaměstnancem	$[m^3 \cdot hod^{-1}]$
$Q_{C_4}$	dopravní výkon při plnění pytlů 56x110 a 56x125 cm, bez použití automatizovaného ovládání, obsluha dvěma zaměstnanci	$[m^3 \cdot hod^{-1}]$
$Q_{CA_1}$	dopravní výkon při plnění pytlů 50x80 cm, s použitím automatizovaného ovládání, obsluha jedním zaměstnancem	$[m^3 \cdot hod^{-1}]$
$Q_{CA_2}$	dopravní výkon při plnění pytlů 50x80 cm, s použitím automatizovaného ovládání, obsluha dvěma zaměstnanci	$[m^3 \cdot hod^{-1}]$
$Q_{CA_3}$	dopravní výkon při plnění pytlů 56x110 a 56x125 cm, s použitím automatizovaného ovládání, obsluha jedním zaměstnancem	$[m^3 \cdot hod^{-1}]$
$Q_{CA_4}$	dopravní výkon při plnění pytlů 56x110 a 56x125 cm, s použitím automatizovaného ovládání, obsluha dvěma zaměstnanci	$[m^3 \cdot hod^{-1}]$
$Q_{dv}$	dopravní výkon při daném průměr výpustného otvoru $d_v$	$[m^3 \cdot s^{-1}]$

$Q_{KP}$	dopravní výkon klapkového podavače	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
$Q_{Pš}$	dopravní výkon šnekového podavače	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
$Q_{PP}$	dopravní výkon pásového podavače	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
$Q_{RP}$	dopravní výkon rotačního podavače	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
$Q_{šP}$	dopravní výkon šoupátkového podavače	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
$Q_{V_{25}}$	dopravní výkon instalované varianty, při plnění pytlů o nosnosti 25 kg	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
$Q_{V_{50}}$	dopravní výkon instalované varianty, při plnění pytlů o nosnosti 50 kg	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
$R$	hydraulický poloměr	$[m]$
$r_1$	vnitřní poloměr horního tubusu	$[m]$
$r_2$	vnitřní poloměr dolního tubusu	$[m]$
$r_3$	vnitřní poloměr výsypky	$[m]$
$R_e$	mez kluzu oceli S355J2	$[Pa]$
$s$	tloušťka aretační součásti	$[m]$
$S_{150}$	plocha klapky o průměru 150 mm	$[m^2]$
$S_{250}$	plocha klapky o průměru 250 mm	$[m^2]$
$S_{dv}$	plocha výpustného otvoru při průměru výpustného otvoru $d_v$	$[m^2]$
$S_{PP}$	průřez náplně pásu	$[m^2]$
$S_Q$	plocha pláště dolního tubusu	$[m^2]$
$S_{RP}$	plocha příčného řezu mezi dvěma lopatkami	$[m^2]$
$S_{SV}$	plocha svaru	$[m^2]$
$s_{š}$	stoupání šnekovnice	$[m]$
$t_1$	tloušťka stěny horního tubusu	$[m]$
$t_{150_1}$	doba vysypávání objemu $V_{25}$ zemědělské komodity přes klapku o průměru 150 mm	$[s]$
$t_{150_2}$	doba vysypávání objemu $V_{50}$ zemědělské komodity přes klapku o průměru 150 mm	$[s]$
$t_2$	tloušťka stěny dolního tubusu	$[m]$
$t_{250_1}$	doba vysypávání objemu $V_{25}$ zemědělské komodity přes klapku o průměru 250 mm	$[s]$
$t_{250_2}$	doba vysypávání objemu $V_{50}$ zemědělské komodity přes klapku o průměru 250 mm	$[s]$

$t_3$	tloušťka stěny výsypky	[m]
$t_{C_1}$	celková doba naplnění pytle 50x80 cm, bez použití automatizovaného ovládání klappek, obsluha jedním zaměstnancem	[s]
$t_{C_2}$	celková doba naplnění 50x80 cm, bez použití automatizovaného ovládání klappek, obsluha dvěma zaměstnanci	[s]
$t_{C_3}$	celková doba naplnění pytle 56x110 a 56x125 cm, bez použití automatizovaného ovládání klappek, obsluha jedním zaměstnancem	[s]
$t_{C_4}$	celková doba naplnění pytle 56x110 a 56x125 cm, bez použití automatizovaného ovládání klappek, obsluha dvěma zaměstnanci	[s]
$t_{CA_1}$	celková doba naplnění pytle 50x80 cm, s použitím automatizovaného ovládání klappek, obsluha jedním zaměstnancem	[s]
$t_{CA_2}$	celková doba naplnění pytle 50x80 cm, s použitím automatizovaného ovládání klappek, obsluha dvěma zaměstnanci	[s]
$t_{CA_3}$	celková doba naplnění pytle 56x110 a 56x125 cm, s použitím automatizovaného ovládání klappek, obsluha jedním zaměstnancem	[s]
$t_{CA_4}$	celková doba naplnění pytle 56x110 a 56x125 cm, s použitím automatizovaného ovládání klappek, obsluha dvěma zaměstnanci	[s]
$t_{KP}$	doba trvání jednoho cyklu klapkového podavače	[s]
$t_N$	tloušťka vrstvy antikorozního nátěru	[m]
$t_p$	tloušťka horní příruby	[m]
$t_{šP}$	doba trvání jednoho cyklu šoupátkového podavače	[s]
$t_v$	doba vysypávání hrachu	[s]
$t_z$	průměrná doba mezi posuvy dolního tubusu	[s]
$t_{zm}$	doba trvání změny objemu	[s]
$U$	elektrické napětí	[V]
$V_{150}$	rychlost vysypávání materiálu přes klapku o průměru 150 mm	[m·s <sup>-1</sup> ]

$V_1$	objem horního tubusu	$[m^3]$
$V_2$	objem dolního tubusu	$[m^3]$
$V_{250}$	rychlost vysypávání materiálu přes klapku o průměru 250 mm	$[m \cdot s^{-1}]$
$V_{25S}$	objem sójových bobů pro plnění pytle o nosnosti 25 kg	$[m^3]$
$V_{25P}$	objem pšenice pro plnění pytle o nosnosti 25 kg	$[m^3]$
$V_{25K}$	objem kukuřice pro plnění pytle o nosnosti 25 kg	$[m^3]$
$V_{2ST}$	objem stěny dolního tubusu	$[m^3]$
$V_3$	objem výsyvky	$[m^3]$
$V_{50S}$	objem sójových bobů pro plnění pytle o nosnosti 50 kg	$[m^3]$
$V_{50K}$	objem kukuřice pro plnění pytle o nosnosti 50 kg	$[m^3]$
$V_{50P}$	objem pšenice pro plnění pytle o nosnosti 50 kg	$[m^3]$
$v_{d_v}$	rychlost vysypávání částic při průměru výpustného otvoru $d_v$	$[m \cdot s^{-1}]$
$V_H$	dávkovaný objem hrachu	$[m^3]$
$V_{KP}$	objem komory mezi klapkami	$[m^3]$
$V_{max}$	maximální dávkovaný objem	$[m^3]$
$V_{min}$	minimální dávkovaný objem	$[m^3]$
$V_{P1}$	maximální objem pytle 50x80	$[m^3]$
$V_{P2}$	maximální objem pytle 56x110	$[m^3]$
$V_{P3}$	maximální objem pytle 56x125	$[m^3]$
$v_{PP}$	rychlost materiálu na dopravním pásu	$[m \cdot s^{-1}]$
$V_{SP}$	objem komory mezi šoupátky	$[m^3]$
$Z$	počet závitů matice	$[-]$
$\alpha$	úhel výsyvky	$[deg]$
$\gamma_s$	sypaná tíha sójových bobů	$[N \cdot m^{-3}]$
$\pi$	Ludolfovo číslo	$[-]$
$\rho_O$	hustota oceli	$[kg \cdot m^{-3}]$
$\rho_N$	hustota antikorozního nátěru Sika Permacor TW 136	$[kg \cdot m^{-3}]$
$\rho_{VK}$	průměrná objemová hmotnost kukuřice	$[kg \cdot m^{-3}]$
$\rho_{Vmin}$	minimální objemová hmotnost zemědělské komodity	$[kg \cdot m^{-3}]$
$\rho_{Vmax}$	maximální objemová hmotnost zemědělské komodity	$[kg \cdot m^{-3}]$
$\rho_{VO}$	průměrná objemová hmotnost ovsa	$[kg \cdot m^{-3}]$
$\rho_{VP}$	průměrná objemová hmotnost pšenice	$[kg \cdot m^{-3}]$
$\rho_{VS}$	objemová hmotnost sójových bobů	$[kg \cdot m^{-3}]$



---

$\sigma_{Dt}$	dovolené namáhání v tahu	[Pa]
$\sigma_t$	namáhání v tahu	[Pa]
$\tau_0$	ohybové napětí aretační prvku	[Pa]
$\tau_{0DOV}$	dovolené ohybové napětí aretační prvku	[Pa]
$\tau_S$	smykové namáhání aretačního prvku	[Pa]
$\tau_{SDOV}$	dovolené smykové namáhání aretačního prvku	[Pa]
$\varphi_S$	sypný úhel sójových bobů	[deg]

## Úvod

Úvodní část této bakalářské práce je zaměřena na přehled a popis různých typů podavačů sypkých hmot, jež mohou sloužit pro objemové plnění pytlů. Následně bude výpočtem stanoven požadovaný dávkovaný objem daných zemědělských komodit. Na základě velikosti dávkovaných objemů a daných počátečních podmínek bude z přehledu možných variant vybrána optimální varianta pro objemové plnění pytlů.

První podmínkou je možnost ovládat dané plnicí zařízení i při výpadku dodávky elektrické energie, neboť dané zařízení je navrhováno pro použití v africkém státě Zambie. K výpadkům dodávky elektrické energie zde dochází denně, a to přibližně na dobu dvou hodin. Další podmínkou, jež souvisí s provozem v Zambii, je co možná nejjednodušší obsluha a údržba zařízení, protože kvalifikace zaměstnanců je velmi nízká.

Pro výběr vhodného plnicího zařízení je potřeba brát zřetel na minimální požadovaný dopravní výkon, stanovený hodnotou 190 pytlů, o velikosti 56x125 cm a 56x110 cm, za hodinu. V případě plnění pytlů 50x80 cm je požadován minimální dopravní výkon 240 pytlů za hodinu. V neposlední řadě je potřeba zaručit hygienickou nezávadnost částí, jež jsou ve styku s dávkovanými komoditami. Plnicí zařízení bude připojeno k přírubě zásobníku o velikosti 8 m<sup>3</sup>.

Jakmile bude vybráno vhodné plnicí zařízení, budou variantně navrženy základní rozměry a komponenty. Zatěžované komponenty budou pevnostně zkontrolovány. Na závěr bude spočten dopravní výkon pro různé varianty konstrukce daného zařízení. Zvolená varianta bude zdokumentována v příložené výkresové dokumentaci.

## **1 Rešerše**

### **1.1 Podavače sypkých hmot**

Podavače sypkých hmot jsou strojní zařízení, jež umožňují dávkování sypkých hmot v určitém množství (dávce), které je možné, v návaznosti na čas, měnit. Tyto podavače jsou zpravidla umístěny na výsypce zásobníku.

Pro technologii dávkování sypkých hmot jsou typické dva principy dávkování sypké hmoty – dávkování hmotnostní a dávkování objemové. Charakteristikou hmotnostního dávkování je vážení dávkovaného materiálu za jednotku času. Hmotnostní dávkování dosahuje přesnosti dávkování od 0,4 do 1,5 %, liší se podle technologie a druhu dávkovaného materiálu. Pro stanovení hmotnosti se používají například průtokoměry, průtokové váhy (přesnost  $\pm 1,5$  %), diferenciální dávkovací váhy a vážící pásové dopravníky (přesnost  $\pm 1$  %). Hlavní předností hmotnostního dávkování je relativně velká přesnost, především v porovnání s objemovým dávkováním.

Druhým principem dávkování sypké hmoty je dávkování objemové. Princip je obdobný, jako u hmotnostního dávkování, avšak u dávkovaného materiálu není zjišťována hmotnost, nýbrž jeho objem. Při objemovém dávkování se běžně dosahuje přesnosti v rozmezí 1 ÷ 5 %, v extrémních případech může dojít k nepřesnostem dosahujících až 10 %.

#### **1.1.1 Klapkový podavač**

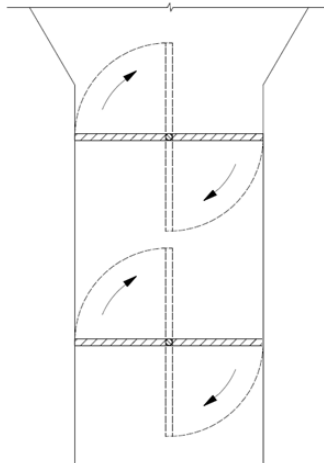
Objemový klapkový podavač je jednoduché strojní zařízení, jež slouží k dávkování přesně stanoveného objemu materiálu. Systém dávkování je založen na souboru dvou pneumaticky ovládaných klapek, umístěných ve výsypce zásobníku. Ty mezi sebou tvoří komoru, plní se na přesně stanovený objem. Proces dávkování začíná otevřením horní klapky. Ze zásobníku se postupně vysypává materiál a zaplňuje komoru. Po úplném naplnění komory se uzavře horní klapka. Když je horní klapka plně uzavřena otevře se dolní klapka a materiál se nasypává do připravených obalů. Proces končí uzavřením dolní klapky. Tento proces se cyklicky opakuje.

Výhodami klapkového podavače je vysoká efektivnost, jednoduchost zařízení a jeho údržba, možnost dávkování různého abrazivního materiálu nebo materiálu, který třením ztrácí své charakteristiky (pšenice, cukr, káva, luštěniny atd.), neboť nedochází

k oddělováním dávek třením. V případě potřeby kontinuální dopravy je možno použít dva a více klapkových podavačů, které pracují ve fázi.

Dopravní výkon klapkového podavače je možno popsat následujícím vztahem:

$$Q_{KP} = \frac{V_{KP}}{t_{KP}} [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (1)$$



Obr. 1 - schematický náčrt klapkového podavače



Obr. 2 - uzavírací elektromotorická klapka včetně pohonu

#### Příklad využití klapkového podavače v praxi – Klapkový podavač ADX

Klapkový podavač ADX je určen pro dávkování sypkých a granulovaných materiálů. „Princip plnění zařízení ADX je následující: Do násypky podavače je přivedeno balené zboží, které se přes spojovací trubky dostane nad střední rozvodnou lištu. Kynvým pohybem plnicí trubky, který zajišťuje asynchronní motor s frekvenčním měničem přes

*klikový mechanismus, je naplněna přední odměrná miska a zadní se ve stejnou chvíli vyprazdňuje do tubusu. Tento cyklus se střídá. Nastavení dávek se provádí společně u všech misek najednou, a to i za chodu balicího stroje. Násypka má objem 18 litrů a je vyrobena z nerezové oceli. Klapkový podavač ADX se ovládá přes centrální počítač“.<sup>[1]</sup>*  
Jeho maximální výkon je 60 cyklů /min.



Obr. 3 - klapkový podavač ADX [1]

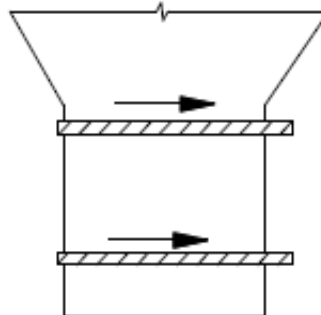
### 1.1.2 Podavač šoupátkový

Šoupátkový podavač je nesložitě strojní zařízení, určené k dávkování různých sypkých hmot. Základním principem tohoto dávkovacího zařízení je posuv dávkovacích desek po přímočaré trajektorii. V případě potřeby přesného dávkování materiálu je využíván obdobný princip, jako u klapkového podavače, kdy jsou použity dvě šoupátka a jedna dávka je definována jako objem prostoru mezi těmito dvěma šoupátky. Proces dávkování probíhá následovně: Prvně dojde k otevření vrchního šoupátka, a vyplnění komory materiálem. Následně se uzavře horní šoupátko a poté otevře šoupátko spodní a materiál se vysype do požadované přepravní jednotky. Po vyprázdnění komory se spodní klapka uzavře a proces se neustále opakuje. Otvírání a zavírání klapek je prováděno pneumaticky, hydraulicky nebo manuálně.

Šoupátkový podavač se vyznačuje vysokou efektivností a jednoduchou konstrukcí. Mezi nevýhody tohoto podavače patří problémy se zavíráním šoupátek u materiálů s velkou granulometrií a nevhodnost pro dávkování abrazivních materiálů a materiálů, které ztrácí třením své vlastnosti.

Dopravní výkon šoupátkového podavače je možno popsat následujícím vztahem:

$$Q_{\dot{S}P} = \frac{V_{\dot{S}P}}{t_{\dot{S}P}} [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (2)$$



Obr. 4 - Schematický náčrt šoupátkového podavače

#### Příklad využití šoupátkového podavače v praxi – Šoupátkový podavač DS1

„Šoupátkový podavač DS1 je určen pro dávkování větších objemů drobných, sypkých a neprašných produktů jako je rýže, mák, zrnková káva, hrách, čočka, některé druhy těstovin např. kolínka, mušličky a nepotravinářské zboží např. krmné směsi, granuláty apod.“. [2] Toto zařízení využívá pouze jednu odměrku. Ta je v násypce naplněna na požadovaný objem. Naplněná odměrka klouže po dně dávkovače, nad výsypkou se ve dně nachází otvor, kterým se materiál vysype z odměrky. Násypky se mohou lišit podle dávkovaného produktu.

Technické parametry	
Typ dávkovače	DS1
Výkon*	do 8 dávek/min.
Objem dávky	800 ml - 7000 ml
Objem dávky z jedné odměrky	
Napájecí napětí	230 V - 50 Hz
Příkon	50 W
Hlučnost	
Hmotnost	70 kg
Tlak vzduchu	0,6 MPa
Spotřeba vzduchu při tlaku 0,6 MPa	13,2 l/dávka
Rozměry stroje	v900 x š530 x d650 mm



Obr. 5 - Šoupátkový podavač DS1 - technické parametry, fotografie [3]

### 1.1.3 Rotační (turniketový) podavač

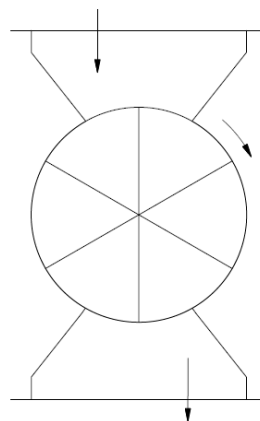
Turniketový podavač slouží k rovnoměrnému kontinuálnímu objemovému dávkování sypkých materiálů. Obvykle se skládá ze dvou základních částí, kterými jsou: uzavřené svařované těleso (označováno taktéž jako skříň) a rotor. V horní a spodní části je skříň opatřena přípojovacími přírubami, na čelech se nacházejí víka. Rotor je složen z bubnu s radiálně umístěnými lopatkami (nejčastěji s vyměnitelnými planžetami) a je uložen na hřídeli. Na hřídeli je přes převodovku připojen elektromotor.

Dávky jsou odměřovány rotačním pohybem bubnu s lopatkami. Mezi bubnem a lopatkami vznikají prostory nazývané pracovní komory, které udávají objem základní dávky. Dávkované množství je možno regulovat změnou otáček rotoru, popř. aktivní šířkou rotoru. Avšak se zvyšujícími se otáčkami  $n$  se snižuje hodnota součinitele zaplnění komor  $k_\varphi$ , což způsobuje menší dopravní výkon, a to především při otáčkách  $0,7 \text{ s}^{-1}$ .

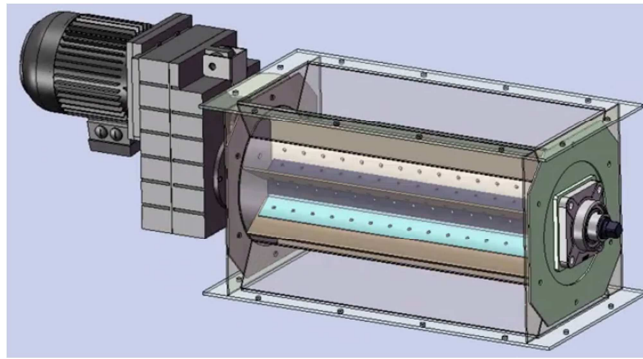
Zařízení je vhodné pro dávkování sypkých nelepivých materiálů, jež nemají tendence k vytváření klenby. Maximální teplota dávkovaného materiálu je až  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  (za předpokladu použití ocelových planžet). Další výhodou je uzavřená konstrukce a s tím spojená možnost použít rotační podavač pro dávkování potravin nebo prašného materiálu. Může taktéž sloužit nejen k dávkování ale i směšování materiálů. Nevýhodou je nemožnost zajistit proměnný dávkovaný objem a konstantní dopravní výkon při provozu bez dodávky elektrické energie. Další nevýhodou je velká spotřeba elektrické energie.

Dopravní výkon turniketového podavače je možno popsat následujícím vztahem:

$$Q_{RP} = S_{RP} \cdot i_{RP} \cdot n_{RP} \cdot b_{RP} \cdot k_\varphi \text{ [m}^3 \cdot \text{s}^{-1}\text{]} \quad (3)$$



Obr. 6 – Schematický náčrt turniketového podavače



Obr. 7 – Vizualizace rotačního podavače [4]

### Příklad využití turniketového podavače v praxi – Rotační směšovací podavač RSP 250

Tento podavač slouží k podávání rozličných sypkých materiálů do potrubí tlakové dopravy. „Základním principem je izolace tlakového prostředí v potrubí od prostředí s normálním atmosférickým tlakem, a zároveň vytváří směs dávkovaného produktu a proudícího vzduchu v poměru, který umožní přepravu produktu. Je možno přepravovat obilí, mouky, prach, šroty atd., který neobsahuje tvrdé slepené kusy vlastního a nesmí obsahovat cizí předměty (hřebíky, motouzy, papíry, ...)“<sup>[5]</sup>.

„Materiál vstupuje ze vpádové skříňky vpádovým otvorem do skříně podavače a plní komůrku rotoru. Otáčením rotoru se naplněná komůrka dostane dolů nad výstupní kanál ve spodní části skříně, materiál vypadá a současně je odnášen proudícím dopravním vzduchem, přicházejícím do podavače vstupní trubkou. Směs materiálu a vzduchu (aerosměs) odchází výstupním hrdlem do dopravního potrubí. Vyprázdněná, komůrka, je nyní naplněna nyní pouze vzduchem o dopravním přetlaku. Ten z ní po otočení nahoru odchází do filtračních hadic nebo aspirace.“<sup>[5]</sup>

Typ RSP	250
Počet otáček el.motoru	1380
Hmotnost zařízení	185
Použitý typ přev. motoru	TS031329
Použitý typ elektromotoru	4AP 90S-6
Výrobce	SIEMENS
Napětí	400V/50Hz
Jmenovitý proud In (400V)	7,0
Příkon	0,75
Počet otáček	23,1/29,85/38,65
cos φ	0,85
Poloha	IM 9183
Krytí motoru	54
Hladina hluku v místě obsluhy	77
Min. a max. okolní teplota	-20°C/40°C
Hmotnost motoru	65,2



Obr. 8 - Rotační směšovací podavač RSP 250 [5]



#### 1.1.4 Podavač šnekový

Šnekové podavače slouží k rovnoměrnému regulovanému podávání, popř. také objemovému dávkování sypkých materiálů ve vodorovném, šikmém nebo i, v ojedinělých případech, svislém směru.

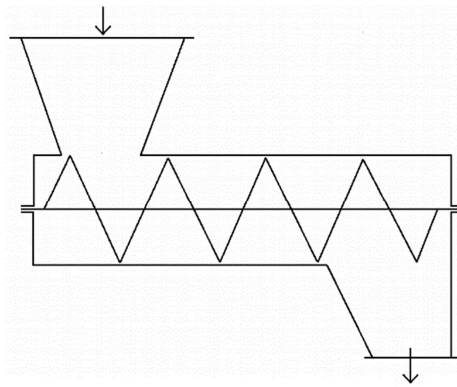
Základní konstrukce šnekových podavačů je jednoduchá; je složena z dopravního koryta (žlabu) a dopravního šneku. Na obou koncích je koryto uzavřeno štíty s valivými ložisky, pro utěsnění se instalují speciální těsnění šnekového hřídele. Dále je koryto vybaveno čistícími a revizními otvory. Dopravní šnek se skládá z plného nebo trubkovitého hřídele, uloženého ve venkovních ložiscích, a na něm upevněných šnekových článků, jež dohromady tvoří plnou nebo obvodovou šnekovnici.

Princip podávání materiálu je v otáčivém pohybu dopravního šneku, který rotací posouvá materiál ve směru osy koryta. Pro správnou funkci šnekového podavače je nutné, aby byly komory šneku zaplněny materiálem maximálně do poloviny jeho průřezu. Další podmínkou je zajistit, aby tření mezi stěnou žlabu a šnekovnicí bylo větší než tření mezi materiálem a povrchem závitů šneku. Šnekový podavač tedy není vhodný pro dopravu abrazivních materiálů nebo materiálů, které třením ztrácí své vlastnosti

Šnekový dopravník je schopen dopravovat materiál, jež má tyto vlastnosti: materiál je sypký, nelepivý, se zrnitostí do 10 mm a bez tendencí k tvorbě klenby. Dopravník lze plně utěsnit, často je používán pro dopravu prašných materiálů. Ze stejného důvodu se šnekový dopravník používá i při dopravování materiálu v potrubí. Dávkované množství je závislé na počtu otáček šnekovnice a je tedy velmi jednoduché jej měnit. Avšak v případě výpadku dodávky energie není možné přesně určit dávkovaný objem.

Dopravní výkon šnekového podavače je možno popsat následujícím vztahem:

$$Q_{P\dot{S}} = \frac{\pi \cdot D_{\dot{S}}^2}{4} \cdot s_{\dot{S}} \cdot n_{\dot{S}} \cdot k_{\varphi} \cdot k_{\beta} [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (4)$$



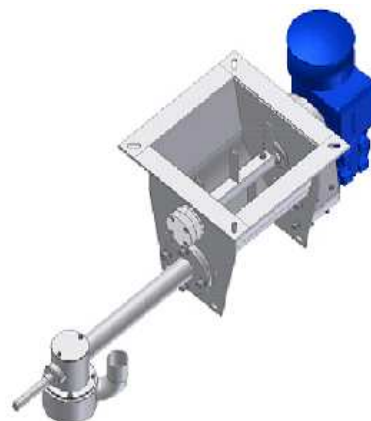
Obr. 9 – Schematický náčrt šnekového podavače

### Příklad využití šnekového podavače v praxi – Dávkovací šnekový podavač Ø 60 s klapkou a čechradlem

Tento dávkovací šnekový podavač slouží k podávání a následnému dávkování suchých, sypkých, zrnitých a práškových materiálů v horizontální rovině. Podavač je na výpadu opatřen pneumaticky ovládanou klapkou. Ta slouží k zpřesnění dávkování. Další zvláštní komponentou tohoto podavače je čechrací zařízení, umístěné v násypce, zabraňující tvorbu klenby.

*„Dávkovací šnekový podavač je tvořen dopravním šnekem s jedním ložiskovým uložením, čechradlem s dvojitým ložiskovým uložením, násypkou spojenou s troubou podavače, pohonnou jednotkou, čelní uzavírací klapkou a krytem řemenového pohonu čechradla. Jednotlivé dílce dopravníku přicházející do styku s dopravovaným materiálem jsou zhotoveny z nerezavějící oceli tř.17. Zbývající dílce jsou vyrobeny z oceli tř. 11 povrchově upravené galvanickým pokovením zinkem. Ložiskové uložení je vyrobeno ze slitiny hliníku<sup>[6]</sup>.*

Průměr dopr. šneku	60 [mm]
Stoupání dopr. šneku	60 [mm]
Jmen. otáčky	134 [min <sup>-1</sup> ]
Dopravované množství	0,85 + 1,3 [m <sup>3</sup> /hod]
Přikon	0,55 [kW]
Ovládací napětí	230/400 [V]
Tlakový vzduch	0,6±0,05 [MPa]
Hmotnost	38,5 [kg]



Obr.10 - Dávkovací šnekový podavač Ø 60 s klapkou a čechradlem [6]

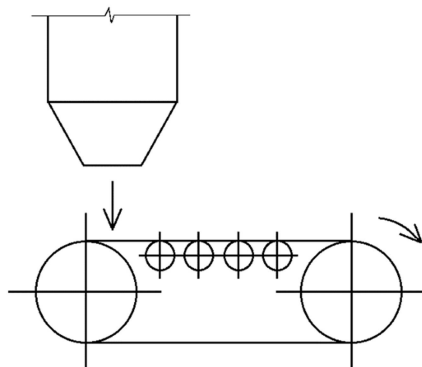
### 1.1.5 Pásový podavač

Pod pojmem pásový podavač se skrývá vodorovný pásový dopravník, zpravidla jednoválečkový s délkou do 5 metrů, na kterém je možno dopravovat téměř všechny typy materiálu, výjimkou jsou abrazivní a lepidelné materiály. Pásový podavač je charakteristický velkým dopravním výkonem, který může, dosahovat až  $1000 \text{ t} \cdot \text{hod}^{-1}$  (při instalaci nastavných plechů v horní větvi), nízkou hlučností, malými pohybovými odpory. Nevýhodami tohoto dopravníku je velký počet rotujících částí (především s nimi spojená údržba a mazání), složitá konstrukce, velká spotřeba energie a velmi malá přesnost dávkování.

Konstrukce pásového podavače se skládá z nosné konstrukce, násypky, poháněcího a vratného bubnu. Mezi poháněcím a vratným bubnem je natažen nekonečný dopravní pás, jenž je hlavním unášecím prvkem dopravníku. Dopravní pás je podepírán válečky nebo kluznými plechy.

Dopravní výkon pásového podavače je možno popsat následujícím vztahem (5):

$$Q_{PP} = S_{PP} \cdot v_{PP} \cdot k_{\varphi} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (5)$$



Obr. 11 - Schématický náčrt pásového podavače

#### Příklad využití pásového podavače v praxi – Pásový podavač PPV

Pásové podavače PPV jsou určeny k vynášení a k objemově stálému podávání lepidelných, sypkých materiálů z násypky nebo zásobníku na třídící zařízení, pásovou dopravu apod.

Dopravní pás pasového podavače PPV je napínán šrouby zadního válce. Poháněcí válec, je poháněn prostřednictvím elektromotoru a převodovky, která je upevněna na rámu. Dopravní pás je po celé délce podavače podepírán bočními válečky, středovými válečky a spodními válečky. Pro setření nečistot z pasu je pasový podavač vybaven stěračem.<sup>[7]</sup>

Typové označení	-	PPV 100x260
Šířka dopravního pásu	mm	1 000
Osová délka mezi válci	mm	2 600
Dopravní množství	m <sup>3</sup> /hod	0-300
Příkon	kW	5,5



Obr. 12 - Pásový podavač PPV – technická data, fotografie 100x260 [7]

## 1.2 Pytle a vaky

Sypaný zemědělský materiál je potřeba uložit do určených transportních jednotek. V tomto konkrétním případě se jedná o pytle nebo vaky. Základními podmínkami pro skladování sypkých zemědělských komodit v pytlích a vacích je prodyšnost, pevnost, ekonomičnost a u sypkých materiálů je taktéž potřeba, aby se z pytle či vaku materiál nevysypával. Neboť se zabýváme sypkou zemědělskou komoditou, je nutné dodržet všechny tyto podmínky.

Pro pytlování sypké zemědělské komodity je možno použít tři základní typy pytlů - papírové, polypropylenové a jutové. Vaky se vyrábějí převážně z polypropylenu.

### 1.2.1 Papírové pytle

Papírové pytle a vaky jsou složeny ze dvou až tří vrstev vyztuženého papíru. Ten se vyznačuje pevností, ekologickou rozložitelností a odolností vůči protržení. Na druhou stranu špatně odolává vlhkosti a nasává vodu.

### 1.2.2 Jutové pytle

Jutové pytle se vyrábějí z juty, což je textilní vlákno vyráběné z vláken různých druhů rostlin jutovníku. V zemědělství se jutové pytle hojně používají již od 19. století, a to z důvodů, že juta výborně odolává mikroorganismům, je ekologicky rozložitelná a velmi

jednoduše se barví. Mezi nevýhody patří, že pytle vyrobené z juty značně práší, mají nepříjemný zápach a jsou mnohem dražší než pytle polypropylenové.



Obr. 13 - Jutové pytle [8]

### 1.2.3 Polypropylenové pytle

Polypropylenové pytle se vyrábí ze zdravotně nezávadné polypropylenové tkaniny, která nepodléhá plísním a je odolná proti vlhkosti. Dalšími přednostmi těchto pytlů jsou: nízká cena, vysoká pevnost a odolnost vůči UV záření. Nevýhodou polypropylenové tkaniny je špatná biologická odbouratelnost. Především z důvodu velké odolnosti a nízké ceny je polypropylenová v posledních 25-ti letech nepoužívanějším materiálem pro výrobu pytlů a vaků používaných v zemědělství.



Obr. 14 - Polypropylenové pytle 56x110 [9]

### 1.2.4 Vaky

Zemědělské vaky, nebo také též big-bagy, jsou de facto velké pytle, vyrobeny především z polypropylenu. Vyznačují se velkým objemem a velkou nosností, která

dosahuje hodnot až 1 000 kg. Polypropylenové vaky mají totožné vlastnosti jako polypropylenové pytle – tedy nízká cena, vysoká pevnost, odolnost vůči UV záření a špatná biologická odbouratelnost. Vaky se používají pro převoz a skladování zemědělských plodin ve velkém množství, dále pak například při demolicích, kde je požadována velká nosnost a odolnost.

## **2 Stanovení objemu dávkovaného materiálu**

### **2.1 Výběr a výpočet počet přibližné velikosti polypropylénových pytlů**

Po zvážení všech vlastností, rozměrů a ekonomických aspektů bylo zvoleno plnění polypropylenových pytlů. Udávaná nosnost pytle rozměru 50x80 cm je 25 kg pšenice, pytle rozměru 56x110 cm mají udávanou nosnost 50 kg pšenice a pytle rozměru 56x125 cm mají nosnost 50 kg ovsu. Pro návrh dopravního zařízení je potřeba určit objem těchto pytlů. Objem bude zjištěn pomocí poměru hmotnosti každého plně naloženého pytle ( $m_{25}, m_{50}$ ) a sypanou hmotností dané plodiny ( $\rho_V$ ).

Mechanické vlastnosti kukuřice, pšenice, a i dalších zemědělských komodit nejsou konstantní, neboť velikost zrn, vlhkost a další vlastnosti jsou nerovnoměrné. Z tohoto důvodu je objemová hmotnost určena intervalem. Z důvodu snížení systematické chyby, bude pro výpočty použita objemová hmotnost průměrná. Pro zvětšení přesnosti dávkování je možné dané zařízení kalibrovat pro konkrétní dávkovanou komoditu, kde bude známa přesnější objemová hmotnost.

Zemědělská komodita	Rozsah objemové hmotnosti zemědělských komodit $\rho_V$ [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]		Průměrná objemová hmotnost $\rho_V$ [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
	$\rho_{V_{min}}$	$\rho_{V_{max}}$	
Kukuřice	700	850	775
Sójové boby	800	-	800
Pšenice	720	850	785
Oves	400	530	465

Tabulka 1 - Objemové hmotnosti daných zemědělských komodit [10]

#### **2.1.1 Výpočet přibližného maximálního objemu pytle 50x80 cm**

Jelikož je potřeba zjistit maximální objem pytlů, je pro výpočet použita nejmenší objemová hmotnost pšenice, jelikož nosnost tohoto pytle je definována právě pšenicí.

$$\rho_{V_P} = \frac{m_{25}}{V_{P1}} [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (6)$$

$$V_{P1} = \frac{m_{25}}{\rho_{V_P}} = \frac{25}{720} = 0.0347 \text{ m}^3 = 34.7 \text{ l}$$

#### **2.1.2 Výpočet přibližného maximálního objemu pytle 56x110 cm**

V tomto případě je postup stejný jako v bodě (2.1.1), pro výpočet bude tedy použita taktéž minimální hodnota objemové hmotnosti pšenice.

$$\rho_{V_P} = \frac{m_{50}}{V_{P2}} [kg \cdot m^3] \quad (7)$$

$$V_{P2} = \frac{m_{50}}{\rho_{V_P}} = \frac{50}{720} = 0.0694 m^3 = 69.4 l$$

### 2.1.3 Výpočet přibližného maximálního objemu pytle 56x125 cm

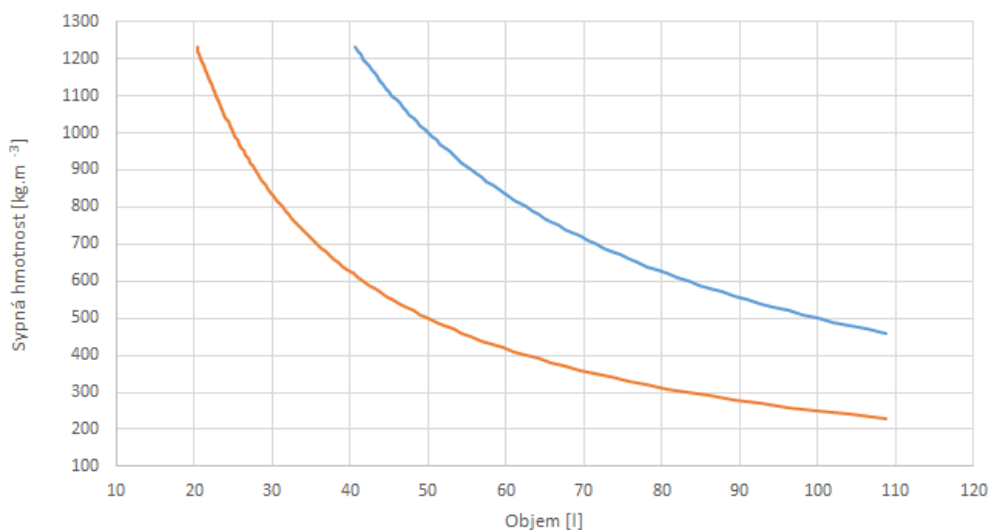
Nosnost pytle o velikosti 56x125 cm je definována 50 kg ovsu, a pro zjištění maximálního objemu pytle bude použita minimální objemová hmotnost ovsu.

$$\rho_{V_O} = \frac{m_{50}}{V_{P3}} [kg \cdot m^{-3}] \quad (8)$$

$$V_{P3} = \frac{m_{50}}{\rho_{V_O}} = \frac{50}{400} = 0.125 m^3 = 125 l$$

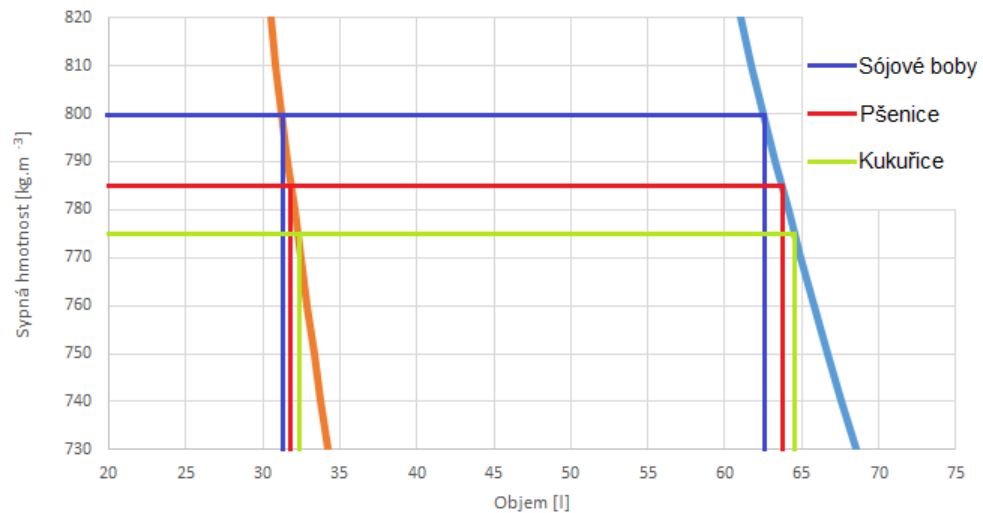
## 2.2 Výpočet objemu vybraných zemědělských komodit při konstantní hmotnosti

Za pomoci softwaru Microsoft Excel 2016 byly vytvořeny grafy závislosti objemu na sypné hmotnosti při konstantní hmotnosti 50kg a 25kg. Tyto hmotnosti byly zvoleny, protože pytle nemohou být zatěžovány větší hmotností, než je jejich nosnost. Z Grafu 2 bude odečten objem dané zemědělské komodity. Tento objem bude porovnán s maximálním objemem pytle, a pokud bude vypočtený objem menší než objem daného pytle, bude vypočtená hodnota sloužit jako objem jedné dávky. V opačném případě, pokud bude objem větší než objem komodity při 50 kg, popř. 25 kg, se pytel naplní na maximální možný objem.



Graf 1 - Závislost objemu na objemové hmotnosti při konstantní hmotnosti 25 kg (oranžová) a 50 kg (modrá)





Graf 2 - Zjištění objemu sójových bobů, kukuřice a pšenice při hmotnosti 25 kg a 50 kg (detail Grafu 1)

Hodnoty odečtené z grafu (za pomoci softwaru Microsoft Excel 2016) jsou zaznačeny v Tabulce 2 a v Tabulce 3.

Zemědělská komodita	Hmotnost $m_{50}$ [kg]	Objemová hmotnost $\rho_V$ [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]	Objem dávky $V_{50}$ [ $\text{m}^3$ ]	Objem dávky $V_{50}$ [l]
Kukuřice	50	775	0.0645	64.5
Sójové boby	50	800	0.0625	62.5
Pšenice	50	785	0.0637	63.7

Tabulka 2 - Objem vybraných zemědělských komodit při hmotnosti 50 kg

Zemědělská komodita	Hmotnost $m_{25}$ [kg]	Objemová hmotnost $\rho_V$ [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]	Objem dávky $V_{25}$ [ $\text{m}^3$ ]	Objem dávky $V_{25}$ [l]
Kukuřice	25	775	0.0323	32.3
Sójové boby	25	800	0.0313	31.3
Pšenice	25	785	0.0318	31.8

Tabulka 3 - Objem vybraných zemědělských komodit při hmotnosti 25 kg

### 2.2.1 Porovnání vypočtených objemů jedné dávky a objemů pytlů

Jak již bylo zmíněno výše, objem jedné dávky nesmí překročit objem daného pytle, a proto bude provedeno porovnání odečtených hodnot s velikostí pytlů. Z důvodu větší názornosti jsou dané rozměry uvedeny v litrech.

Zemědělská komodita	Objem dávky $V_{50}$ [l]	Objem pytle 56x125 $V_{P3}$ [l]	Objem pytle 56x110 $V_{P2}$ [l]	Objem dávky $V_{25}$ [l]	Objem pytle 50x80 $V_{P1}$ [l]
Kukuřice	64.5	125.0	69.4	32.3	34.7
Sójové boby	62.5	125.0	69.4	31.3	34.7
Pšenice	63.7	125.0	69.4	31.8	34.7

*Tabulka 4 – Porovnání vypočteného objemů dávky při konstantní hmotnosti a objemů pytlů*

Z Tabulky 4 je patrné, že objem dávek při konstantní hmotnosti 25 kg a 50 kg je menší než objem pytlů, tudíž budou hodnoty odečtené z Grafu 2 použity jako směrodatné dávkované objemy.

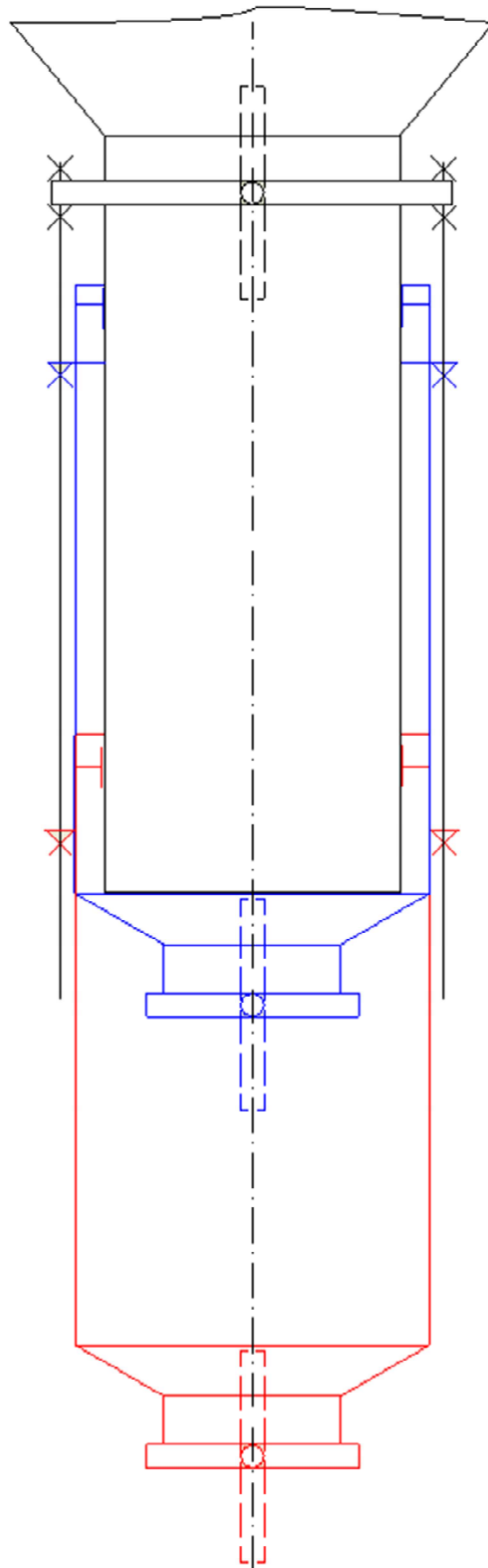
### **3 Návrh konstrukce plnicího zařízení**

Základní princip plnicího zařízení spočívá ve dvou ocelových válcových tubusech (dolní a horní tubus) se dvěma pneumaticky ovládanými klapkami, kde je objem jedné dávky odměřen prostorem mezi klapkami. Aby bylo možné dávkovat různé zemědělské komodity do různých typů pytlů, bude se dolní tubus s klapkou posouvat po horním tubusu. Posuvem dolního tubusu do přesně stanovených pozic, vyznačených ryskami na horním tubusu, se docílí odměření přesně stanoveného objemu zemědělských komodit.

Horní tubus (statický) tubus, jehož výška bude definována výškou hladiny pro nejmenší objem dávkovaného materiálu, bude připevněn za pomoci šroubů k přírubě zásobníku. Příruba zásobníku je navržena dle EN 1092-1, 01B1/DN250/PN10. Mezi přírubou horního tubusu a přírubou zásobníku bude umístěna pneumaticky ovládaná klapka. Výška dolního tubusu se bude odvíjet od rozdílu maximální a minimální hladiny, avšak je potřeba, aby výška dolního tubusu nebyla větší, než výška horní části, a to z důvodu, aby mohlo být dosaženo minimálního objemu prostoru mezi klapkami. V dolní části tubusu bude umístěna další pneumaticky ovládaná klapka a rukávec.

Posunovaný tubus bude se statickým tubusem spojen pomocí dvou závitových tyčí, jež budou připevněny na horní přírubě. Tyto dvě tyče taktéž budou sloužit jako šrouby příruby, a to v případě, kdy jejich velikost bude M20. Pro upevnění posunované části k závitové tyči je na každé straně použit aretační prvek, jenž je přivařen k posunovanému tubusu a na závitové tyči je podepřen rychloupínací maticí. Tato varianta splňuje podmínku co největší jednoduchosti a minimální údržby. Zvedání a spouštění budou obstarávat dvě proškolené osoby. Další variantou je řešení posuvu za pomoci dvou pneumatických válců.

Obr. 15 znázorňuje ideu posuvu dolní části. Černě vyznačené části znázorňují části, jejichž poloha se při posuvu nemění. Červeně a modře jsou znázorněny horizontálně posunované součásti. Modře vyznačené části znázorňují polohu horní krajní polohy – tedy polohy, kdy je v prostoru mezi klapkami nejmenší objem. Dolní poloha součástí je znázorněna červeně. V tuto chvíli má prostor největší objem.



Obr. 15 - Schematický nákres navrhovaného zařízení

Celý dolní tubus zvedán a spouštěn zaměstnancem, který bude muset zvedat celou hmotnost dolní části. Proto je potřeba docílit takové hmotnosti dolní části, aby splňovala hygienické limity dle nařízení vlády č. 361/2007 Sb., § 29: „Přípustný hygienický limit pro hmotnost ručně manipulovaného břemene přenášeného mužem při občasném zvedání a přenášení je 50 kg, při častém zvedání a přenášení 30 kg“. Jelikož se jedná o zvedání pouze občasně, může mít dolní část zařízení, včetně všech částí, hmotnost maximálně 50 kg.

### 3.1 Výběr průměru posunovaného tubusu

Prvním krokem pro návrh plnicího zařízení je určení rozměrů dolního tubusu. Je potřeba brát zřetel především na výšku a dále pak na hmotnost tubusu z důvodu posunu tohoto zařízení zaměstnancem. Tabulka 5 prezentuje výpočty s různými průměry posunovaného tubusu. Průměry tubusu se odvíjejí od dostupného průměru klapky. Tubus bude vyroben z oceli S355J2, hustota oceli S355J2  $\rho_0$  je  $7850 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  [16].

Požadovaný objem dolního tubusu  $V_2$  bude získán za pomoci rovnice (9). Jedná se o rozdíl největšího a nejmenšího dávkovaného objemu. Zaplněná výška tubusu  $h_2$  je zvětšena o 10 %, a to z důvodu, aby bylo zajištěno dostatečné překrytí se statickým tubusem při maximálním vysunutí posunovaného tubusu.

$$V_2 = V_{max} - V_{min} = 0.0645 - 0.0313 = 0,0332 \text{ m}^3 \quad (9)$$

$$h_2 = \frac{V_2}{\pi \cdot r_2^2} [\text{m}] \quad (10)$$

$$V_{2st} = \pi \cdot (r_2 + t_2)^2 \cdot 1.1 \cdot h_2 - \pi \cdot r_2^2 \cdot 1.1 \cdot h_2 [\text{m}^3] \quad (11)$$

$$m_2 = V_{2st} \cdot \rho_0 [\text{kg}] \quad (12)$$

Vnitřní průměr dolního tubusu $D_2$ [m]	Vnitřní poloměr dolního tubusu $r_2$ [m]	Tloušťka stěny dolního tubusu $t_2$ [m]	Zaplněná výška dolního tubusu $h_2$ [m]	Výška dolního tubusu $1.1 \cdot h_2$ [m]	Hmotnost dolního tubusu $m_2$ [kg]
0.15	0.075	0.001	1.879	2.067	7.70
0.20	0.100	0.001	1.056	1.162	5.76
0.25	0.125	0.001	0.676	0.744	4.61
0.30	0.150	0.001	0.471	0.518	3.84
0.15	0.075	0.002	1.879	2.067	15.49
0.20	0.100	0.002	1.056	1.162	11.58
0.25	0.125	0.002	0.676	0.744	9.25
0.30	0.150	0.002	0.471	0.518	7.70

Tabulka 5 - Určení hmotnosti dolního tubusu při různých vnitřních průměrech

V návaznosti na podmínku co nejnižší hmotnosti je zvolen tubus o vnitřním průměru 300 mm a tloušťce stěny 2 mm. Další výhodou této varianty je malý zdvih.

### 3.2 Výběr vhodné dolní klapky

Dle katalogu firmy Stasto, vybírám uzavírací mezipřírubovou klapku ovládanou dvojčinným pneumatickým pohonem se solenoidním ventilem (viz 4.1). Protože hmotnost klapky o průměru 300 mm je 41 kg, byla, především z důvodu nízké hmotnosti, vybrána klapka o průměru 150 mm. Obchodní označení vybrané varianty je BUW2-150-DSW-D32.

uzavírací klapka s dvojčinným pohonem, ovládací tlak 5,5-8bar, manžeta EPDM, médium voda

DN DN[mm]	max. pracovní tlak [bar]	A	B	C	E	F	druh pohonu	Kv - hodnoty [m <sup>3</sup> /h]	typ mezipřírubové	hmotnost [cca kg]	typ Mezipřírubové	hmotnost [cca kg]
40	6	263	75	33	81	164	PAD063	116	BUW2-040-DSE-D31	4	BULI-040-DSE-D31	4,8
50	6	271	81	43	81	164	PAD063	116	BUW2-050-DSE-D31	4,6	BULI-050-DSE-D31	5,5
65	6	277	98	46	81	164	PAD063	257	BUW2-065-DSE-D31	5,5	BULI-065-DSE-D31	7,1
80	6	291	110	46	81	164	PAD063	508	BUW2-080-DSE-D31	5,8	BULI-080-DSE-D31	7,9
100	6	306	128	52	81	164	PAD063	925	BUW2-100-DSE-D31	7,8	BULI-100-DSE-D31	9,9
125	6	337	140	56	95	210	PAD075	1492	BUW2-125-DSE-D31	10,1	BULI-125-DSE-D31	12,6
150	6	353	155	56	95	210	PAD075	2168	BUW2-150-DSE-D31	12	BULI-150-DSE-D31	14,4
200	6	405	190	60	106	241	PAD085	3838	BUW2-200-DSE-D31	18	BULB-200-DSE-D31	31
250	6	483	220	68	137	333	PAD115	5010	BUW2-250-DSE-D31	31	BULB-250-DSE-D31	43
300	6	513	247	78	137	333	PAD115	9233	BUW2-300-DSE-D31	41	BULB-300-DSE-D31	58

Tabulka 6 - Vlastnosti uzavírací klapky s dvojčinným pohonem [11]

Udávaná hmotnost je již s pneumatickým pohonem PAD0085. Hmotnost zvoleného pneumatického pohonu se solenoidním ventilem je ovšem totožná a hmotnost tedy není potřeba přepočítávat. Hmotnost manžety klapky EPDM a EPDM vhodné pro potravinářství je taktéž totožná.

### 3.3 Návrh výsypky

Jelikož byl zvolen průměr posunovaného tubusu 304 mm a průměr klapky 150 mm, je nutné navrhnout výsypku, jež bude přivařena ke spodní části posouvaného tubusu. Na výsypce bude přivařena příruba pro připevnění klapky o průměru 150 mm. Byla zvolena výsypka s následujícími vlastnostmi:

Vnitřní průměr výsypky $D_3$	Výška výsypky $h_3$ [m]	Tloušťka stěny výsypky $t_3$ [m]	Vnitřní objem výsypky $V_3$ [m <sup>3</sup> ]	Úhel výsypky $\alpha$ [deg]	Hmotnost výsypky $m_3$ [kg]
0.15	0.84	0.002	$2.55 \cdot 10^{-3}$	60	1.30

Tabulka 7 - Základní vlastnosti výsypky, výpočty provedeny v Inventoru

### 3.4 Výpočet horního (statického) tubusu

Pro výpočet horního tubusu je stěžejní minimální dávkovaný objem  $V_{min}$ , neboť bude sloužit jako výchozí objem tohoto tubusu. Jelikož byla k dolnímu tubusu přidána výsypka, je nezbytné její vnitřní objem odečíst od minimálního objemu  $V_{min}$ , neboť výsypku není možno zasunout. Následně pomocí rovnice (14) se dopočítá výška tubusu  $h_1$  pro čtyři různé průměry. Staticky umístěný tubus bude vyroben z oceli S355J2 (11 503) o tloušťce stěny  $t_1 = 2$  mm.

$$V_1 = V_{min} - V_3 = 0.0313 - 2.55 \cdot 10^{-3} = 0.0288 \text{ m}^3 \quad (13)$$

$$h_1 = \frac{V_1}{\pi \cdot r_1^2} [\text{m}] \quad (14)$$

Vnitřní průměr horního tubusu $D_1$ [m]	Vnitřní poloměr horního tubusu $r_1$ [m]	Objem horního tubusu $V_1$ [m <sup>3</sup> ]	Výška horního tubusu $h_1$ [m]
0.15	0.075	0.0288	<b>1.629</b>
0.20	0.100	0.0288	<b>0.916</b>
0.25	0.125	0.0288	<b>0.586</b>
0.30	0.150	0.0288	<b>0.407</b>

Tabulka 8 - Tabulka s vybranými rozměry statického tubusu

Směrodatná hodnota pro výběr průměru statického tubusu je jeho výška. Ta musí být větší než výška dolního tubusu (bez výsypky). Matematicky lze tento vztah popsat rovnicí (15). Z důvodu požadavku co největší výšky tubusu a v návaznosti na podmínku, vyjádřenou rovnicí (15), volím průměr statického tubusu 250 mm.

$$h_1 \geq 1.1 \cdot h_2 \quad (15)$$

$$0.586 > 0.518 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Jelikož mají navržené tubusy rozdílné vnitřní průměry, je teoreticky možné, že v blízkosti přechodu těchto dvou průměrů bude docházet k vytváření tzv. hluchého prostoru – místa, kam se materiál, vlivem sypného úhlu, nedostane. Na základě výpočtů, provedných za pomoci softwaru Autodesk Inventor 2017, jsem zjistil, že objem tohoto prostoru je minimální (konkrétně  $3.75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$ ) a tudíž je možné jej zanedbat.

Na horní části tohoto tubusu bude přivařena příruba, která bude následně připojena k přírubě zásobníku.

### 3.5 Výběr vhodné horní klapky

Stejně jako v případě dolní části, i zde bude vybrána vhodná klapka podle katalogu společnosti Stasto (viz Tabulka 6). Volím klapku BUW2-250-DSW-D32. Pro pohon klapky bude taktéž použit dvojčinný pneumatický pohon ovládaný solenoidním ventilem (viz 4.1).

### 3.6 Zajištění hygienické nezávadnosti

Dané zařízení bude sloužit pro dávkování zemědělských komodit, tudíž je nutné, aby všechny části, jež mohou být ve styku s potravinami, byly opatřeny antikoročním nátěrem, s atestem pro styk s potravinami. V tomto případě byl zvolen antikorozní nátěr Sika® Permacor® 136 TW.

Sika® Permacor® 136 TW je dvousložkový nátěr na bázi epoxydové pryskyřice, použitelný na ocel a beton, nejčastěji se využívá jako vnitřní nátěr nádrží na vodu, zásobníku a sil. Výhody tohoto nátěru jsou například: velmi dobrá přilnavost na površích z oceli, hliníku a minerálních látek, aplikace pouze v jedné vrstvě a mechanická odolnost. Nátěr lze provádět válečkem (ve vrstvě 3x 150 μm) nebo stříkáním (ve vrstvě 1x 400 μm). Další informace o nátěru Sika® Permacor® 136 TW jsou k dispozici v katalogu <sup>[12]</sup>.

#### 3.6.1 Výpočet hmotnosti nátěru

Jelikož i nátěr zvětší hmotnost, je potřeba vypočítat hmotnost nátěru v posunovaných částech, včetně nátěru v příslušných přírubách. Z katalogu bude zjištěno, jakou hmotnost má 1 m<sup>3</sup> nátěru. Výpočet bude proveden pro vrstvu nátěru  $t_N = 400 \mu\text{m}$ . Hustota nátěru Sika® Permacor® 136 TW  $\rho_N$  je 960 kg/m<sup>3</sup> <sup>[13]</sup>.

$$S_Q = 2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot h = 2 \cdot \pi \cdot 0.15 \cdot 0.518 = 0.488 \text{ m}^2 \quad (16)$$

$$m_N = \rho_N \cdot S_Q \cdot t_N = 960 \cdot 0.488 \cdot 4 \cdot 10^{-4} = 0.19 \text{ kg} \quad (17)$$

Výpočet hmotnosti nátěru ve výsypce a obou spodních přírubách byl proveden za pomoci softwaru Autodesk Inventor 2017.

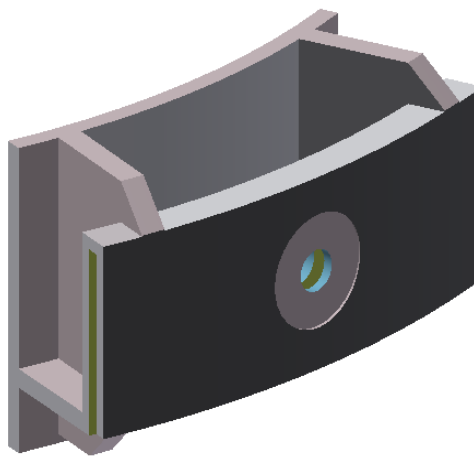
Hmotnost	0,002 kg (Relativní)
Objem	1712,866 mm <sup>3</sup> (R)

Tabulka 9 - Fyzikální vlastnosti nátěru ve výsypce

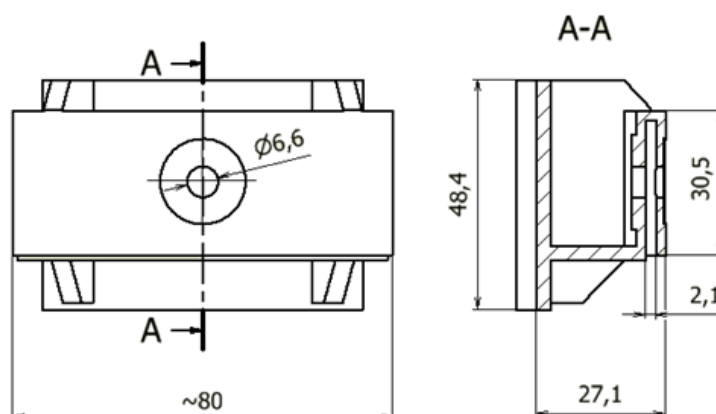


### 3.7 Návrh vymešovacího prvku

Dolní tubus bude pojíždět po statickém tubusu po přesně definované trajektorii. Aby se zajistila soustřednost, hladké pojíždění, a aby se zabránilo přičení tubusu, budou na dolním tubusu umístěny čtyři, na míru vyrobené, plastové vymešovací prvky. Plast, jako materiál vymešovacího prvku, byl vybrán (místo oceli) z důvodu snížení tření mezi povrchem statického tubusu a povrchem vymešovacích prvků, snížení hmotnosti a taktéž z důvodu eliminace problematického pojíždění kovu po kovu. Další velkou výhodou 3D tisku je, že tisk probíhá na základě 3D modelu a není potřeba vytvářet zvláštní výkres součásti. Pro výrobu bude použit model vytvořený za pomoci programu Autodesk Inventor Professional 2017. Vizualizace modelu viz obr. 16. Hlavní rozměry vymešovacího prvku jsou pro ilustraci zakótovány na obrázku 17.



Obr. 16 – 3D model pojížděcí součásti



Obr. 17 - Hlavní rozměry vymešovacího prvku

V průmyslovém 3D tisku se nejčastěji vyskytuje materiál ABS a PLA. V tomto případě bude využit materiál ABS (Akrylonitrilbutadienstyren). Předností ABS je jeho tuhost, mechanická a teplotní odolnost.

Metoda 3D tisku součásti byla zvolena z důvodu inovativnosti dané technologie, rychlé výroby a také z důvodu možnosti tisku tvarů, jež by pomocí jiných technologií nebylo možné vyrobit. Tisk bude probíhat na tiskárně FORTUS 360 mc. Tato 3D tiskárna je vhodná pro výrobu daných součástí, mj. z důvodu zajištění velmi velké přesnosti výroby a vysoké kvality povrchu. Vysoká kvalita povrchu zajistí hladký chod součásti po statickém tubusu.

K upevnění na posouvaném tubusu bude sloužit šroub M6x16 a nízká matice M6, podložená plochou podložkou.

### 3.8 Výpočet a výběr vhodného průměru závitových tyčí

Minimální průměr závitových tyčí  $d$ , na kterých bude pojíždět, bude vypočten z podmínky na tah. Pevnostní třída závitové tyče je 4.8.

#### 3.8.1 Stanovení maximální síly působící na jednu závitovou tyč

Závitová tyč bude zatížena v ose, a to hmotností materiálu  $m_{50} = 50 \text{ kg}$  a dolního tubusu včetně všech jeho součástí nátěru  $m_{PT} = 36 \text{ kg}$ , počet závitových tyčí  $i_s = 2$ .

$$F_{P_1} = 1.2 \cdot \frac{F_J + (m_{PT} + m_{50}) \cdot g}{i_s} [N] \quad (18)$$

$$F_{P_1} = 1.2 \cdot \frac{36.3 + (36 + 50) \cdot 9.81}{2}$$

$$F_{P_1} = 530 \text{ N}$$

#### 3.8.2 Výpočet maximální Janssenovy síly působící na dolní část

Maximální Janssenova síla bude působit v případě dávkování materiálu s největší sypnou hmotností a nejmenším sypným úhlem. Toto nastane v případě dávkování sójových bobů. Sypný úhel sójových bobů  $\varphi_s = 25^\circ$

$$F_J = \frac{\gamma_{S_{max}} \cdot R}{f \cdot k} \cdot k_d \cdot k_o \cdot S' = \frac{\rho_{V_{max}} \cdot g \cdot R}{f \cdot k} \cdot k_d \cdot k_o \cdot \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} [N] \quad (19)$$

$$F_J = \frac{800 \cdot 9.81 \cdot 0.0375}{0.466 \cdot 0.406} \cdot 1.2 \cdot 1.1 \cdot \frac{\pi \cdot 0.15^2}{4} = 36.3 \text{ N}$$

$$R = \frac{S}{o} = \frac{\pi \cdot D_3^2}{4 \cdot \pi \cdot d} = \frac{D_3}{4} = \frac{0.15}{4} = 0.0375 \text{ m} \quad (20)$$

$$f = \operatorname{tg}(\varphi_S) = \operatorname{tg}(25) = 0.466 \quad (21)$$

$$k = \frac{1 - \sin(\varphi_S)}{1 + \sin(\varphi_S)} = \frac{1 - \sin(25)}{1 + \sin(25)} = 0.406 \quad (22)$$

### 3.8.3 Výpočet minimálního průměru závitové tyče

$$\sigma_t \leq \sigma_{Dt} \quad (23)$$

$$\frac{F_{P_1}}{\pi \cdot \left(\frac{d_3}{2}\right)^2} \leq \frac{R_e}{k_S}$$

$$d_3' \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_{P_1} \cdot k_S}{\pi \cdot R_e}}$$

$$d_3' \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 530 \cdot 1.5}{\pi \cdot 320}}$$

$$d_3' \geq 1.776 \text{ mm}$$

Z podmínky na tah byl vypočten minimální průměr závitové tyče  $d_3'$ . Takto malý průměr závitové tyče není vhodné použít, a to z důvodu náchylnosti k ohybu a lámání. Jelikož je plánováno použití závitových tyčí na místo dvou šroubů přírubby, bude zvolen průměr závitové tyče, stejný jako u šroubů přírubby zásobníku, tedy M20. Tímto řešením se zjednoduší a zlevní návrh plnicího zařízení, a to z důvodu, že není potřeba vytvářet další přípevňovací prvky a části. Dalším důvodem pro volbu takového průměru šroubu je možnost působení dynamických sil (např. při padání klenby nebo při neopatrném posuvu). Vhodná délka závitové tyče je přibližně 900–1000 mm.

Označení	Velikost
Velký průměr závitu = jmenovitá velikost d	20
Střední průměr závitu $d_2$	18.376
Malý průměr závitu $d_3$	16.933
Rozteč P	2.5
Stoupání $P_h$	2.5

Tabulka 10 - Základní parametry závitu M20, v milimetrech

### 3.9 Výpočet a výběr vhodné aretační matice

Aretační matice budou umístěny na závitových tyčích a jejich hlavním úkolem bude nést váhu celé dolní části, včetně všech komponentů a materiálu a je tedy potřeba provést pevnostní kontrolu a následně vybrat vhodnou matici (3.9.1).

Jelikož bude matice často překonávat velkou vzdálenost, bude jako aretační matice použita rychloupínací matice AMF M20 bez nákrůžku. Jejimi hlavními výhodami jsou: úspora času při překonávání dlouhých závitů, tuhost a pevnost srovnatelná s pevnostní třídou 10, jednoduchá montáž a menší opotřebení závitu šroubu.

#### 3.9.1 Výpočet potřebné výšky matice

Dovolený tlak na závitech matice  $p_D = 20 \text{ MPa}^{[14]}$ ,  $F_0 \approx F_{P_1}$

$$p \leq p_D \quad (24)$$

$$\frac{F_0}{\pi \cdot z \cdot d_2 \cdot H_1} \leq p_D$$

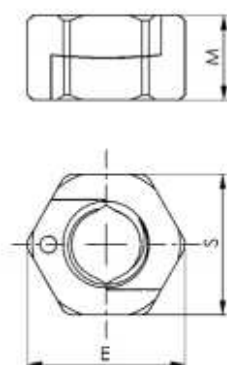
$$z \geq \frac{F_0}{\pi \cdot p_D \cdot d_2 \cdot H_1}$$

$$z \geq \frac{530}{\pi \cdot 20 \cdot 18.376 \cdot 1.25}$$

$$z \geq 0.37;$$

$$H_1 = 0.5 \cdot P = 0.5 \cdot 2.5 = 1.25 \text{ mm} \quad (25)$$

$$h = z \cdot P = 2.5 \cdot 0.37 = 0.93 \text{ mm} \quad (26)$$



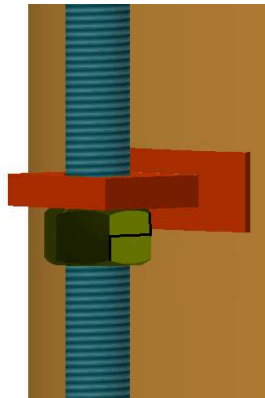
Obj.č.	Velikost	E	M	S	Hmotnost [g]
381772	M6	11	6	10	3
381780	M8	14	8	13	6
381796	M10	19	10	17	14
381806	M12	21	12	19	20
381814	M16	27	16	24	39
381822	M20	33	20	30	75
381830	M24	40	24	36	131



Obr. 18 - Rychloupínací matice AMF M20 [15]

### 3.10 Aretační prvek

Na dolním tubusu budou přivařeny dva aretační prvky, každý na jedné straně zásobníku. Účelem tohoto prvku je udržení posouvaného tubusu, včetně všech komponentů a dávkovaného materiálu na závitové tyči ve správné výšce. Aretační prvek je udržován v požadované výšce pomocí rychloupínací aretační matice.



Obr. 19 - Detail aretační prvku (3D model)

#### 3.10.1 Pevnostní výpočet aretačního prvku

Materiál svařence je ocel S355J2 (11 503),  $Re = 355 \text{ MPa}$  <sup>[16]</sup>,  $F_S \approx F_{P_1}$ , převodní součinitel svarového spoje volím  $k_3=0,75$  <sup>[17]</sup> a  $k_4=0,65$  <sup>[17]</sup>, koeficient bezpečnosti volím  $k_s = 1.5$  <sup>[18]</sup>

##### 3.10.1.1 Namáhání na smyk

$$\tau_S = \frac{F_S}{2 \cdot S_{SV}} = \frac{F_S}{2 \cdot a \cdot l} \leq \tau_{SDOV} = k_4 \cdot \frac{R_e}{k_s} \quad (27)$$

$$\frac{0.53}{2 \cdot 45 \cdot 3} \leq 0.65 \cdot \frac{355}{1.5}$$

1.94 Mpa < 153.8 Mpa – vyhovuje

##### 3.10.1.2 Namáhání na ohyb

$$\tau_O = \frac{M_O}{W_{osvY}} = \frac{F_S \cdot b}{\frac{J_y}{\frac{s}{2} + a}} \leq \tau_{ODOV} = k_3 \cdot \frac{R_e}{k_s} \quad (28)$$

$$\frac{0.53 \cdot 18}{\frac{11\,610}{\frac{10}{2} + 3}} \leq 0.75 \cdot \frac{355}{1.5}$$

6.5 Mpa < 133.1 Mpa – vyhovuje

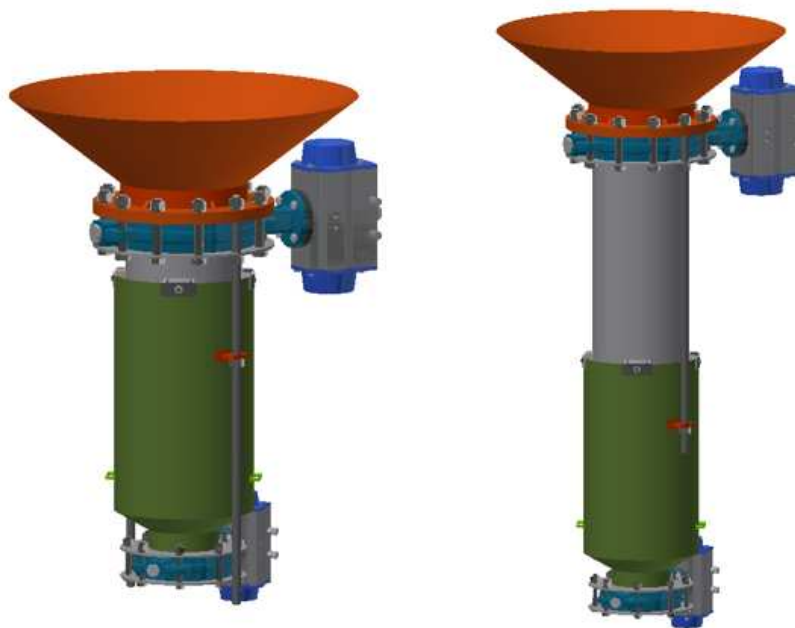
$$J_y = 2 \cdot \left[ \frac{1}{12} \cdot a^3 \cdot l + a \cdot l \cdot \left( \frac{a+s}{2} \right)^2 \right] \quad (29)$$

$$J_y = 2 \cdot \left[ \frac{1}{12} \cdot 3^3 \cdot 45 + 3 \cdot 45 \cdot \left( \frac{3+10}{2} \right)^2 \right]$$

$$J_y = 11\,610 \text{ mm}^4$$

### 3.11 Zvedání/ spouštění posuvného tubusu

Zvedání a spouštění posouvajícího tubusu budou provádět vždy minimálně dva zaměstnanci a pouze za předpokladu, že je prostor mezi klapkami prázdný. Jeden zaměstnanec uchopí madla a přizvedne zařízení a druhý zaměstnanec následně uvolní rychloupínací matici na každé straně. První zaměstnanec nastaví dolní tubus do požadované výšky a druhý zaměstnanec nastaví a upevní rychloupínací aretační matice, v případě nutnosti mohou pomocí utahování/povolání matic mírně upravit pozici dolního tubusu. Hmotnost posouvající části zařízení včetně všech součástí  $m_{pT}$  je 36 kg, zařízení tak odpovídá hygienickým limitům.



Obr. 20 - Vizualizace výsledného zařízení pro plnění pytlů

#### 3.11.1 Nastavení přesného objemu

Aby bylo možné nastavit přesný objem dané dávky, budou na statickém tubusu vyznačeny rysky pro každý objem každé zemědělské komodity. Vzdálenost rysky od dolní plochy horní příruby statického tubusu  $h_r$  bude zjištěna podle následujících vztahů:

$$h_{r_{50}} = h_1 - t_p + \frac{h_2 \cdot (V_{50} - V_{min})}{(V_{max} - V_{min})} - 1.1 \cdot h_2 \quad (30)$$

Zemědělská komodita	Objem $V_{50}$ [m <sup>3</sup> ]	Vzdálenost rysky od hrany horního tubusu $h_{r_{50}}$ [m]
Kukuřice	0.0645	0.533
Sójové boby	0.0625	0.506
Pšenice	0.0637	0.522

Tabulka 11 - vzdálenost rysky od hrany statického tubusu  $h_{r_{50}}$

$$h_{r_{25}} = h_1 - t_p + \frac{h_2 \cdot (V_{25} - V_{min})}{(V_{max} - V_{min})} - 1.1 \cdot h_2 \quad (31)$$

Zemědělská komodita	Objem $V_{25}$ [m <sup>3</sup> ]	Vzdálenost rysky od hrany horního tubusu $h_{r_{25}}$ [m]
Kukuřice	0.0323	0.076
Sójové boby	0.0313	0.062
Pšenice	0.0318	0.069

Tabulka 12 - vzdálenost rysky od hrany statického tubusu  $h_{r_{25}}$

### 3.12 Výběr vhodného rukávce

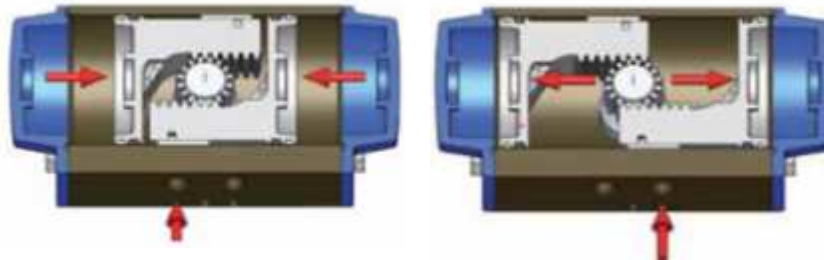
Pro efektivní plnění pytlů bude použit polypropylénový rukávec, který se vloží do plněného pytle. Díky rukávci se zamezí vysypávání dávkované zemědělské komodity mimo pytel, a jelikož je polypropylénový poddajný, tak také ulehčuje zaměstnancům manipulaci s plnými pytli.

Rukávec bude připevněn mezi dolní přírubu a klapku o průměru 150 mm. Vyroben bude z polypropylénového pytle o velikosti 56x110 cm.

## 4 Elektronické a pneumatické komponenty zařízení

### 4.1 Pneumatický pohon ovládaný solenoidním ventilem

Pro otevírání a zavírání klapky jsou použity dva dvojčinné pneumatické pohony ovládané solenoidními ventily, které na základě elektrického impulzu, v tomto případě z tlačítka, vpustí stlačený vzduch do pohonu, který následně otevře nebo zavře klapku.



Obrázek 21 - Schéma otevírání a zavírání klapky, dvojčinný pneumatický pohon Valbia [19]

Pro ovládání klapky o průměru 150 mm bude použit bistabilní solenoidní ventil EV5/2 NAMUR 24 V DC, model 85 od společnosti Valbia. Spotřeba vzduchu této klapky  $c_{0_{85}} = 0.51$  litru pro otevření a  $c_{z_{85}} = 0.64$  litru pro zavření.

Pro ovládání klapky o průměru 250 mm byl vybrán taktěž bistabilní solenoidní ventil EV5/2 NAMUR 24 V DC, model 115. Spotřeba vzduchu této klapky  $c_{0_{115}} = 1.29$  litru pro otevření a  $c_{z_{115}} = 1.71$  litru pro zavření.

Model ovládaný stejnosměrným napětím 24 V byl zvolen, jelikož je možné jej napájet přímo z akumulátoru.

PRINCIPALI CARATTERISTICHE / MAIN CHARACTERISTICS		
Materiale corpo Body material	Alluminio anodizzato nero	Black anodized aluminum
Materiale guarnizione Seal material	NBR + PUR	NBR + PUR
Fluido di alimentazione Supply medium	-	-
Temperatura di esercizio Working temperature	da -25°C a +60°C	-25°C to +60°C
Pressione di esercizio Working pressure	da 2 a 10 Bar	2 - 10 Bar
Connessioni pneumatiche Pneumatic connections	Ingresso 1: G 1/4" Namur Ingressi 3 e 5: G 1/8"	Port 1: G 1/4" Namur Ports 3 and 5: G 1/8"
Portata a 6 bar Flow at 6 bar	700 l/min	700 l/min
Connessioni elettriche Electric connections	Type 22, spade plug (PG 9P)	Type 22, spade plug (PG 9P)
Grado di protezione Protection	IP 65	IP 65
Parti interne Internal parts	Zama - acciaio - alluminio - POM	Zamak, steel, aluminum, POM
Potenza assorbita Absorbed power	2,5 W	2,5W



Obr. 22 – Pneumatický pohon ovládaný solenoidním ventilem, Valbia – základní vlastnosti, fotografie [20]



## 4.2 Akumulátor

Dané zařízení bude napájeno akumulátorem o napětí 24 V, který bude průběžně dobíjen pomocí inteligentní nabíječky.

### 4.2.1 Výpočet spotřeby energie jednoho solenoidního ventilu

Dle výkonu vybraných pneumatických pohonů se solenoidním ventilem (4.1), byla vypočtena spotřeba elektrické energie, jež tyto pohony spotřebují za dobu jedné hodiny. Spotřeba elektrické energie tlačítka je zanedbatelná a další spotřebiče nejsou při výpadku v provozu.

$$2 \cdot P_{SV} = U \cdot I \quad (32)$$
$$I = \frac{2 \cdot P_{SV}}{U} = \frac{2 \cdot 2.5}{24} = 0.21 \text{ A}$$

### 4.2.2 Výběr akumulátoru

Na základě výpočtů výše (4.2.1), jsem zvolil dva 12 V olovněné akumulátory Exide EB7L-B s kapacitou 8 Ah zapojené do série, běžně používané do motocyklů. Je zvolena výrazně vyšší kapacita soustavy baterií, a to z důvodu zamezení úplnému vybití baterie. Při úplném vybití a setrvání akumulátoru ve vybitém stavu se na jeho elektrodách akumulátoru objevuje sulfatace, která výrazně snižuje jejich kapacitu. Zvýšená kapacita zaručí bezproblémový provoz zařízení na více než 30 hodin, například v případě poruchy na nabíječce. Další výhodou těchto motocyklových olovněných baterií je jejich dostupnost i v rozvojových zemích, dlouhá životnost (mimo případ kdy dojde k úplnému vybití baterie) a taktéž několikanásobně nižší cena oproti Li-ion akumulátorům.



Obr. 23 - Olovněný akumulátor EXIDE EB7L-B 12 V/ 8 Ah [21]

### 4.2.3 Výběr vhodné nabíječky

Pro napájení sestavy baterií byla zvolena inteligentní nabíječka baterií CTEK MXT 4.0, 24 V/4 A. Hlavní důvody pro zvolení této nabíječky je její automatizovaný provoz a schopnost udržovat soustavu akumulátorů stále dostatečně nabitou.

### 4.3 Výpočet a výběr vhodného kompresoru a vzdušníku

#### 4.3.1 Maximální spotřeba vzduchu

Stlačený vzduch je používán pro pohon pneumatických klapek. Maximální spotřeba stlačeného vzduchu nastane v případě, kdy je plněno největší množství pytlů, tedy největší dopravního výkonu. Tento případ nastane při plnění pytlů 50x80 cm. Výpočet byl proveden pro zvolenou výslednou variantu (5.11). Jedná se o spotřebu vzduchu při tlaku 6 bar.

$$c_{c_1} = Q_{V_{25}} \cdot (c_{o_{115}} + c_{z_{115}} c_{o_{85}} + c_{z_{85}}) \quad (33)$$

$$c_{c_1} = 249 \cdot (1.29 + 1.71 + 0.51 + 0.64)$$

$$c_{c_1} = 1033 \text{ litrů} \cdot \text{hod}^{-1}$$

#### 4.3.2 Výběr vhodného vzdušníku

Výpadky proudu se vyskytují přibližně jednou za směnu, a to po dobu přibližně dvou hodin. Aby nedošlo k absenci stlačeného vzduchu, bude k navrhovanému zařízení připojen stojatý vzdušník, typ ZV od společnosti DRUKOV, o velikosti 3000 l a pracovním tlaku 10 bar, což zaručí dostatek stlačeného vzduchu na více jak tři hodiny. Za vzdušníkem bude umístěn škrtkový ventil na 6 bar. ti

#### 4.3.3 Výběr vhodného kompresoru

Stlačený vzduch do vzdušníku bude získáván z pístového kompresoru Orlík EK 4-2. Kompresor nebude v provozu konstantně, ale bude spouštěn při poklesu tlaku pod 8 bar a automaticky vypne až při plném naplnění vzdušníku na 10 bar. Tento cyklus zajišťuje stálé dostatečné množství stlačeného vzduchu pro provoz daného zařízení na tři hodiny.

Výkonnost	72 l/min
Maximální přetlak	10 bar
Výkon	0.75 kW
Napětí	230 V



Obr. 24 - Základní parametry a fotografie, kompresor Orlík EK 4-2 [22]

#### 4.4 Ovládací tlačítko

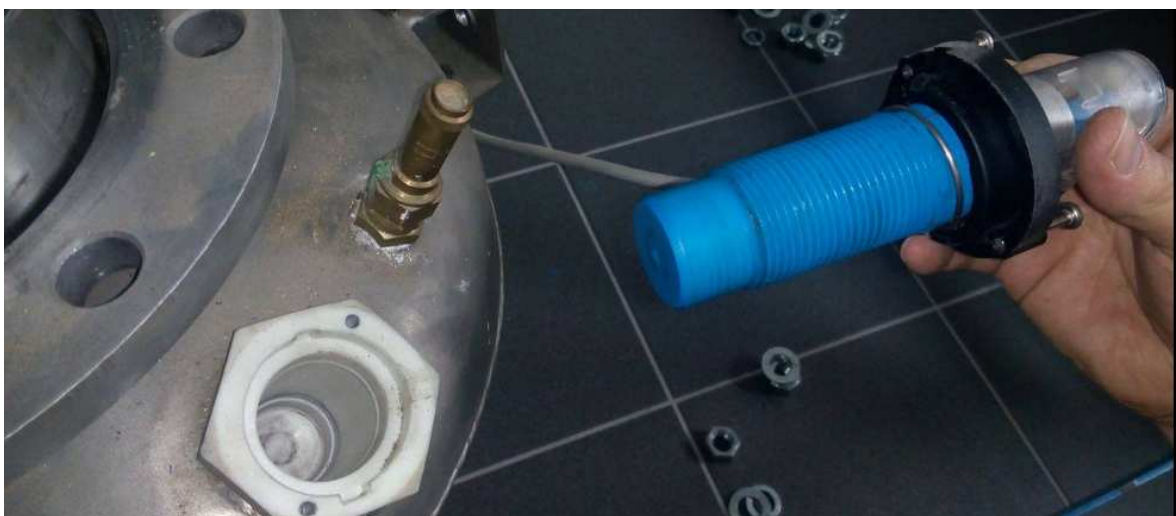
Pro ovládání daného zařízení budou celkem použita dvě tlačítka – jedno pro otevírání a uzavírání klapky a druhé, jež bude sloužit jako nouzové zastavení (uzavření obou klapky, a vypnutí kompresoru). Ovládací tlačítko bude vybavené LED diodou, která bude signalizovat stav operace: tlačítko svítí – zařízení je připraveno k provozu, tlačítko bliká – klapka (horní nebo dolní) je otevřena, tlačítko nesvítí – porucha či jiný problém.

Pro nouzové zastavení bylo vybráno tlačítko: YW1B-V4E03R, pro ovládání bylo vybráno tlačítko: CW1L-M1E10Q4G.

#### 4.5 Návrh zařízení při použití hladinového limitního spínače

V případě požadavku na větší dopravní výkon plnicího zařízení je možno použít hladinový limitní spínač NIVECTOR FTC 968, který umožní automatizovaný provoz plnicího zařízení. Základním principem hladinového limitního spínače je, že při dosažení požadované horní hladiny vyšle spínač elektrický impulz, v tomto případě pro uzavření horní klapky, a s pevně daným časovým zpožděním, otevře a následně zavře klapku dolní. Jelikož se při použití hladinového limitního spínače klapky otevírají automaticky, je výsledná doba vysypávání kratší o reakční dobu zaměstnance (viz 5.5 a 5.8).

*"Hladinový limitní spínač NIVECTOR FTC 968 se používá pro signalizaci hladiny práškových a jemnozrnných sypkých látek s následujícími vlastnostmi: zrnitost menší než 10 mm, dielektrická konstanta  $\epsilon_r$  větší než 1,6. Ochranu hladinového limitního spínače před abrazivním opotřebením, způsobeným sypáním materiálu, zajišťuje montážní adaptér Protector“ [23].*

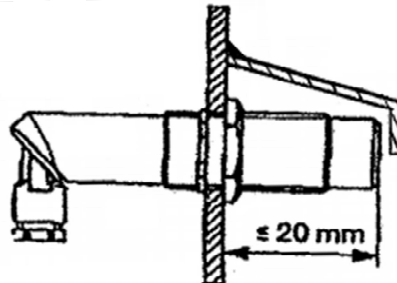


Obr. 25 - Hladinové limitní čidlo NIVECTOR 968 FTC

Měřicí systém, v závislosti na provedení daného spínače, je napájen střídavým nebo stejnosměrným napětím. Jelikož jsou všechny ostatní elektrické spotřebiče napojeny na stejnosměrný proud, 24 V, bude i daný hladinový spínač pracovat se stejnosměrným proudem. Max. odběr proudu je 15 mA. Různé externí zátěže, jako signálky, relé a malé stykače budou připojeny na hladinový limitní spínač Nivector FTC968 do série a jsou spínány obdobně jako mechanickým tlačítkem.

*„Senzor, umístěný na konci Nivectoru pracuje jako kapacitní měřicí systém. To znamená, že při kontaktu senzoru se sypkou hmotou aktivuje elektronický spínač (tyristor nebo tranzistor)“.*<sup>[23]</sup>

Pro instalaci limitního spínače Nivector 968, včetně ochranného krytu Protector, je potřeba do zásobníku vyvrtat v místě hladiny díru o průměru 35 milimetrů. Jelikož v případě navrhovaného zařízení je hladina materiálu definována v místě příruby, bylo by pro instalaci limitního hladinového čidla zvětšit výšku statického tubusu alespoň o 40 mm milimetrů. Dále je potřeba splnit podmínku, aby byl NIVECTOR FTC 968, i v případě použití ochranného krytu Protector, instalován minimálně 20 mm uvnitř zásobníku. Z důvodu eliminace rizika nesprávného spuštění čidla, bude nad čidlem instalována „stříška“ (obr. 26).





Obr. 26 - Hladinový limitní snímač NIVECTOR FTC 968 [23]

#### 4.6 Návrh zařízení při posunu za pomoci pneumatických válců

Pro posun dolní části plnicího zařízení je možné použít, na místo manuálního posunu pomocí závitových tyčí a matic, také dva pneumatické válce. Z důvodu velkého zdvihu byly vybrány dva dvojitě pneumatické válce o průměru pístnice 32 mm a provozním tlakem 6 bar, s obchodním označením 32/500CM. Jelikož základní výška pneumatických válců je 110 mm, je potřeba umístit pneumatické válce na dolní tubus. Připevnění k

dolnímu tubusu se provede pomocí speciální konzoly, jež může být k tubusu přivařena nebo přišroubována. Samotný válec je ke konzole připevněn čtyřmi šrouby M6.

Dvojitinné válce CX (bez magnetu) a CM (s magnetem) dle CNOMO										
			Průměr (mm)	Zdvihy (mm)	Připojení	Závit pístnice	Tlačná síla při 6 bar (N)	Délka tlumění (mm)	Tlak (bar)	Teplota (°C)
o	25/...CX	25/...CM	25	10 - 2 500	1/8"	M10 × 1,5	265	21	1-10	-20/+80
o	32/...CX	32/...CM	32	10 - 2 500	1/8"	M10 × 1,5	434	21	1-10	-20/+80
o	40/...CX	40/...CM	40	10 - 2 500	1/4"	M16 × 1,5	679	28	1-10	-20/+80
o	50/...CX	50/...CM	50	10 - 2 500	1/4"	M16 × 1,5	1 060	28	1-10	-20/+80
o	63/...CX	63/...CM	63	10 - 2 500	3/8"	M20 × 1,5	1 680	34	1-10	-20/+80
o	80/...CX	80/...CM	80	10 - 2 500	3/8"	M20 × 1,5	2 710	34	1-10	-20/+80

**Důležité:** Při objednání doplňte do objednacího kódu zdvih v milimetrech namísto symbolu tří teček (...)!.



Tabulka 13 – Katalog – dvojitinné válce CX a CM 30 [24]

Ke statickému tubusu může být druhý konec pneumatického válce připevněn například pomocí dvojitých podložek, jež budou připevněny pod dvěma šrouby příruby. V případě použití hladinového limitního snímače FTC 968, je možné umístit druhý konec i na boční stěnu statického válce, a to z důvodu větší výšky statického válce (viz 4.5), a tím i větší zbytkové výšky mezi tubusy. V tomto případě by byly pneumatické válce přišroubovány na konzolu. Pro přesné určení výšky zdvihu a s tím souvisejícího objemu je nutné dané instalovat snímač polohy, který je dodáván jako volitelné příslušenství.

V případě použití pneumatického válce pro posun dolního tubusu je nutné určit spotřebu stlačeného vzduchu při posunu. Spotřeba stlačeného vzduchu se určí dle Tabulky 14, v návaznosti na umístění pneumatického válce na posuvném tubusu. Na základě spotřeby vzduchu bude upravena velikost kompresoru a vzdušníku. Spotřeba stlačeného vzduchu při pohybu dolního tubusu mezi krajními polohami je přibližně 2.8 litru při dopředném zdvihu (vysunutí pístu) a 2.4 litru při zpětném zdvihu (zasunutí pístu).

Průměr pístu mm	Dopředný zdvih NI	Zpětný zdvih NI
16	0,014	0,012
20	0,022	0,018
25	0,034	0,029
32	0,056	0,048

Tabulka 14 - Teoretická spotřeba vzduchu při 6 barech a zdvihu 10 mm [25]

## **5 Výpočet dopravního výkonu navrhovaného zařízení**

Výpočet dopravního výkonu navrhovaného zařízení slouží pro zjištění, zda navrhované zařízení dosahuje požadovaného minimálního dopravního výkonu, který je stanoven hodnotou 190 pytlů, s nosností 50 kg, za hodinu. V případě plnění pytlů s nosností 25 kg je minimální požadovaný dopravní výkon 240 pytlů za hodinu.

Pro výpočet dopravního výkonu navrhovaného plnicího zařízení je nezbytné vypočítat dobu, za kterou se naplní jeden pytel. Tato hodnota bude vypočtena jako součet dílčích časových úseků v procesu plnění jednoho pytle. Ten se skládá z otevření horní klapky, nadávkování materiálu do prostoru mezi klapkami, uzavření první klapky, otevření dolní klapky, naplnění a zavázání a odstranění pytle zpod zařízení.

Všechny níže stanovené časy jednotlivých úkonů jsou přibližné a v případě instalace daného zařízení je nezbytné stanovené hodnoty ověřit a případně upravit.

### **5.1 Výpočet přibližné rychlosti vysypávání materiálu**

Dle experimentálního měření doby, za kterou se vysype konstantní objem hrachu přes dané kruhové výpustné otvory o průměru 50, 100, 150 a 190 mm, provedeného Ing. Robertem Brázdou, Ph.D., se provede přibližný výpočet rychlosti vysypávání materiálu.

Naměřené hodnoty jsem zanesl do Grafu 3 a vytvořil lineární funkci, podle které bude zjištěna přibližná rychlost vysypávání materiálu. Vypočtená rychlost bude použita pro výpočet přibližné doby, pro naplnění jednoho pytle.

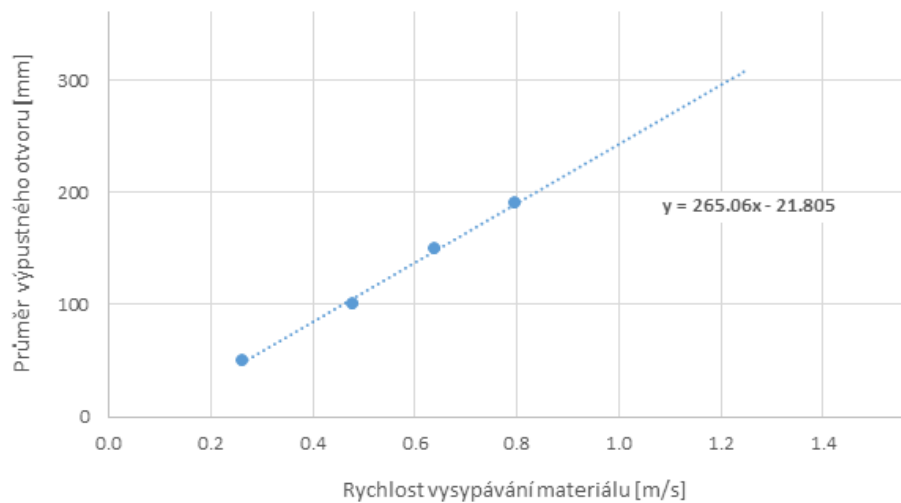
$$S_{d_v} = \frac{\pi \cdot d_v^2}{4} [m^2] \quad (34)$$

$$Q_{d_v} = \frac{V_H}{t_v} [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (35)$$

$$v_{d_v} = \frac{Q_{d_v}}{S_{d_v}} [m \cdot s^{-1}] \quad (36)$$

Naměřené hodnoty			Vypočítané hodnoty		
Objem hrachu $V_H$ [m <sup>3</sup> ]	Průměr výpustného otvoru $d_v$ [m]	Doba vysypávání $t_v$ [s]	Plocha výpustného otvoru $S_{d_v}$ [m <sup>2</sup> ]	Dopravní výkon $Q_{d_v}$ [m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ]	Rychlost vysypávaných částic $v_{d_v}$ [m·s <sup>-1</sup> ]
0.339	0.05	660	$1.96 \cdot 10^{-3}$	$0.514 \cdot 10^{-3}$	0.262
0.339	0.1	90	$7.85 \cdot 10^{-3}$	$3.77 \cdot 10^{-3}$	0.480
0.339	0.15	30	$17.7 \cdot 10^{-3}$	$11.3 \cdot 10^{-3}$	0.639
0.339	0.19	15	$28.4 \cdot 10^{-3}$	$22.6 \cdot 10^{-3}$	0.797

Tabulka 15 – Výpočet přibližné rychlosti vysypávání materiálu



Graf 3 - Závislost rychlosti na průměru výpustného otvoru

Z grafu se odečte výsledná rovnice přímky (37)

$$y = 265.06 x - 21.805 \quad (37)$$

Po dosazení průměru výpustného otvoru (za  $y$ ) přes jednu klapku o průměru 250 mm do rovnice (37) zjistíme rychlost naplnění prostoru mezi klapkami. Rychlost pro průměr otvoru 150 mm není potřeba počítat, neboť tato hodnota byla zjištěna experimentálně.

$$250 = 265.06 v_{250} - 21.805$$

$$v_{250} = \frac{250 + 21.805}{265.06}$$

$$v_{250} = 1.045 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

## 5.2 Doba otevření/zavření klapky

Doba zavření a otevření klapky v jednom cyklu se pohybuje v řádu stovek milisekund, u velkých klapky může tento čas dosáhnout i několika vteřin, vše záleží na typu a velikosti pohonu. V tomto konkrétním případě jsou použity pneumatické pohony se solenoidními ventily (4.1). Stanovený pracovní čas pohonu Valbia 85 je 0.28 a 0.20 s (jedna hodnota je pro otevření, druhá pro zavření klapky), pohon Valbia 115 má stanovený pracovní čas 0.6 a 0.54 sekund.

		TEMPI DI MANOVRA (SEC) - WORKING TIME (SEC)											
		MODELLO MODEL	32	52	63	75	85	100	115	125	140	160	180
VERSIONE TYPE													
ROTAZ. 0°-90°	ROTAZIONE ANTIORARIA (DA) COUNTERCLOCKWISE ROTATION (DA)	CCW	0,03	0,07	0,11	0,18	0,28	0,38	0,60	0,80	1,08	1,43	1,99
	ROTAZIONE ORARIA (DA) CLOCKWISE ROTATION (DA)	CW	0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,54	0,70	0,94	1,25	1,80

Tabulka 16 - Pracovní čas solenoidních ventilů Valbia [26]

## 5.3 Doba vysypání materiálu o objemu pytle 50x80 cm

Použitím výše vypočtené rychlosti vysypávání a největšího objemu jedné dávky je možné určit přibližnou dobu vysypávání materiálu. Dávkovaný materiál se bude dávkovat přes klapky o dvou různých průměrech, a tedy i rozdílných časech vysypávání. Největší dávkovaný objem do pytle 50x80 cm je 32.3 litrů.

$$t_{250_1} = \frac{V_{25}}{Q_{250}} = \frac{V_{25}}{S_{250} \cdot v_{250}} = \frac{0.0323}{49.1 \cdot 10^{-3} \cdot 1.045} = 0.63 \text{ s} \quad (38)$$

$$t_{150_1} = \frac{V_{25}}{Q_{150}} = \frac{V_{25}}{S_{150} \cdot v_{150}} = \frac{0.0323}{17.7 \cdot 10^{-3} \cdot 0.639} = 2.85 \text{ s} \quad (39)$$

## 5.4 Celková doba naplnění pytle 50x80 cm, bez použití automatizovaného ovládání klapky

Nyní, krok po kroku, bude zmapován celý proces plnění jednoho pytle a následně budou sečteny všechny dílčí časové úseky procesu a bude stanovena doba naplnění jednoho pytle. Hodnoty, jež nejsou zmíněny výše, byly stanoveny na základě experimentu.

Jako první je potřeba, aby zaměstnanec zvedl a otevřel pytel, nasadil jej na rukávec (stanovený čas úkonu je 5.2 sekundy) a po celou dobu vysypávání jej přidržoval na



rukávci. Pytel bude vždy položen na více nespécifikovaném stole nebo na zemi. Dále zaměstnanec stiskne tlačítko a otevře první (horní) klapku (stanovený celkový čas je 1.5 sekundy). Prostor mezi klapkami se naplní za 0.6 sekundy. Že je prostor mezi klapkami zaplněn zaměstnanec pozná poslechem – když se materiál sype, vytváří hluk. Poté zaměstnanec stiskne tlačítko znovu pro uzavření první klapky a podruhé pro otevření druhé (dolní) klapky (stanovený celkový čas 1.6 sekundy). Po naplnění pytle zaměstnanec stiskne opět tlačítko a uzavře dolní klapku (doba naplnění včetně otevření klapky je 2.2 sekundy, reakční doba zaměstnance je 1 sekunda). Posledním krokem je sejmutí pytle z rukávce, zavázání a přemístění pytle zpod výsypky (stanovený čas 10 s).

Výsledná doba naplnění jednoho pytle 50x80 cm, při obsluze jedním zaměstnancem,  $t_{C_1}$  je 22.1 sekund, což znamená, že dopravní výkon v tomto případě je přibližně 162 pytlů za hodinu (4.1 tuny za hodinu, 5.2 m<sup>3</sup> za hodinu).

Výše stanovený čas naplnění jednoho pytle je stanoven pro obsluhu plnicího zařízení jedním zaměstnancem a znázorňuje maximální výkon zaměstnance, a tedy maximální dopravní výkon zařízení. Pro zvětšení dopravního výkonu je možné najmout dalšího zaměstnance. Zaměstnanci by se postupně střídali – první zaměstnanec nasune pytel na rukávec a následně pytel naplní. Poté pytel sundá z rukávce a odsune pryč. Druhý zaměstnanec, již s nachystaným prázdným pytle, provede stejný úkon, tedy nasune pytel na rukávec a naplní jej. V mezičase, když druhý zaměstnanec plní pytel, první zaměstnanec zaváže a odklidí naplněný pytel, připraví si prázdný pytel a poté oba zaměstnanci pokračují v cyklu. Tato varianta sníží výsledný čas naplnění jednoho pytle 50x80 cm  $t_{C_1}$  o 7.7 vteřin (nasazení pytle na rukávec by trvalo 3.5 sekundy a sejmutí a odklizení 4 sekundy). Výsledná doba naplnění jednoho pytle 50x80 cm, při obsluze dvěma zaměstnanci  $t_{C_2}$  je 14.4 sekundy, výsledný dopravní výkon je cca 250 pytlů za hodinu (6.3 tun za hodinu, 8.1 m<sup>3</sup> za hodinu).

### **5.5 Celková doba naplnění pytle 50x80 cm, s použitím automatizovaného ovládání klapek**

Použití automatizovaného ovládání zvýší rychlost dávkování materiálu do pytlů. Stejně jako v případě, kdy jsou pytle plněny bez použití automatizovaného ovládání, bude i zde proveden popis celého procesu včetně doby trvání každého kroku.

Jako první zaměstnanec zvedne a otevře pytel a nasadí jej na rukávec (stanovená doba úkonu je 5.2 sekundy). Dále zaměstnanec stiskne tlačítko a dále jen přidržuje pytel na rukávci, celý proces vysypávání je prováděn automaticky. Po stlačení tlačítka se otevře první klapka a tubusy se naplní materiálem (celkový čas cca 1.2 sekundy). V horním tubusu je umístěn hladinový limitní spínač FTC 968, který při dosažení požadované hladiny zavře první klapku a následně otevře klapku spodní (1 sekunda). Materiál se vysype do pytle (za dobu 2.9 sekundy) a dolní klapka se po uplynutí 0.5 sekundy automaticky zavře. Nyní již zaměstnanec sejme pytel z rukávce, zaváže jej a odsune zpod výsypky (stanovený čas 10 sekund).

Výsledný čas naplnění jednoho pytle 50x80 cm, po sečtení všech dílčích operací,  $t_{CA_1}$  je 20.8 sekund, což znamená, že dopravní výkon  $Q_{CA_1}$  je v tomto případě přibližně 173 pytlů za hodinu (4.3 tuny za hodinu, 5.6 m<sup>3</sup> za hodinu).

Opět zde platí, že se jedná o dobu, kdy zařízení obsluhuje jedna osoba. V případě obsluhy zařízení dvěma osobami (podle stejného postupu jako v bodě 5.4), by se celková doba naplnění snížila přibližně o dalších 7.7 vteřin. V tomto případě by se snížila doba naplnění jednoho pytle na 13.1 sekund, což znamená dopravní výkon  $Q_{CA_2}$  až 274 pytlů za hodinu (6.9 tuny za hodinu, 8.9 m<sup>3</sup> za hodinu).

### 5.6 Doba vysypání materiálu o objemu pytle 56x110 a 56x125 cm

Maximální dávkovaný objem do pytlů 56x110 cm a 56x125 cm je 64.5 litru. Proveďte se stejný výpočet jako v bodě (5.4).

$$t_{250_2} = \frac{V_{50}}{Q_{250}} = \frac{V_{50}}{S_{250} \cdot v_{250}} = \frac{0.0645}{49.1 \cdot 10^{-3} \cdot 1.045} = 1.26 \text{ s} \quad (40)$$

$$t_{150_2} = \frac{V_{50}}{Q_{150}} = \frac{V_{50}}{S_{150} \cdot v_{150}} = \frac{0.0645}{17.7 \cdot 10^{-3} \cdot 0.639} = 5.70 \text{ s} \quad (41)$$

### 5.7 Celková doba naplnění pytle 56x110 a 56x125 cm, bez použití automatizovaného ovládání klapek

Výpočet bude proveden na základě poznatků a výpočtů v bodě (5.5). Jediný rozdíl je v objemu dávkovaného materiálu, a tedy v době jeho vysypávání. Odečteme časy  $t_{150_1}$  a  $t_{250_1}$  od  $t_{c_1}$  a současným přičtením časů  $t_{150_2}$  a  $t_{250_2}$  k této hodnotě získáme výsledný

čas plnění jednoho pytle. Výsledný vztah je vyjádřen rovnicí (42). Hodnoty  $t_{150_2}$ ,  $t_{250_2}$ ,  $t_{150_1}$ ,  $t_{250_1}$  byly zaokrouhleny na jedno desetinné místo.

$$t_{C_3} = t_{C_1} - t_{150_1} - t_{250_1} + t_{150_2} + t_{250_2} [s] \quad (42)$$

$$t_{C_3} = 22.1 - 0.6 - 2.9 + 1.3 + 5.7 = 25.6 \text{ s}$$

Výsledná doba naplnění pytlů 56x110 a 56x125 cm bez použití automatizovaného ovládání klapky a při obsluze jednou osobou  $t_{C_3}$  je 25.6 s,  $Q_{C_3}$  dopravní výkon je roven hodnotě cca 140 pytlů za hodinu (7 tun za hodinu, 9 m<sup>3</sup> za hodinu). Výsledná doba naplnění pytlů 56x110 a 56x125 cm bez použití automatizovaného ovládání klapky a při obsluze dvěma osobami  $t_{C_4}$  je menší o 7.7 vteřin než  $t_{C_3}$ , tudíž  $t_{C_4}$  je roven 17.9 sekundám. Dopravní výkon  $Q_{C_4} \cong 201$  pytlů za hodinu (10 tun za hodinu, 13 m<sup>3</sup> za hodinu).

### 5.8 Celková doba naplnění pytle 56x110 a 56x125 cm, s použitím automatizovaného ovládání klapky

Výpočet bude proveden na základě poznatků a výpočtů v bodě (5.6). Jediný rozdíl je v objemu dávkovaného materiálu, a tedy v době jeho vysypávání. Odečtem časy  $t_{150_1}$  a  $t_{250_1}$  od  $t_{CA_1}$  a současným přičtením časů  $t_{150_2}$  a  $t_{250_2}$  k této hodnotě získáme výsledný čas plnění jednoho pytle. Výsledný vztah je vyjádřen rovnicí (43). Hodnoty  $t_{150_2}$ ,  $t_{250_2}$ ,  $t_{150_1}$ ,  $t_{250_1}$  byly zaokrouhleny na jedno desetinné místo.

$$t_{CA_3} = t_{CA_1} - t_{150_1} - t_{250_1} + t_{150_2} + t_{250_2} [s] \quad (43)$$

$$t_{CA_3} = 20.8 - 0.6 - 2.9 + 1.3 + 5.7 = 24.3 \text{ s}$$

Výsledná doba naplnění pytlů 56x110 a 56x125 cm s použitím automatizovaného ovládání klapky a při obsluze jednou osobou  $t_{CA_3}$  je 24.3 s, dopravní výkon  $Q_{CA_3}$  je roven hodnotě cca 148 pytlů za hodinu (7.4 tun za hodinu, 9.5 m<sup>3</sup> za hodinu). Výsledná doba naplnění pytlů 56x110 a 56x125 cm s použitím automatizovaného ovládání klapky a při obsluze dvěma osobami  $t_{CA_4}$  je menší o 7.7 vteřiny než  $t_{CA_3}$ , tudíž  $t_{CA_4}$  je roven 16.6 sekundám. Dopravní výkon  $Q_{CA_4} \cong 216$  pytlů za hodinu (10.8 tun za hodinu, 13.9 m<sup>3</sup> za hodinu).

### 5.9 Přehled hodnot výsledného dopravního výkonu

	Pytle 50x80 cm			
	Manuální ovládání		Automatizované ovládání	
Počet obsluhujících zaměstnanců	1 zam.	2 zam.	1 zam.	2 zam.
Doba naplnění jednoho pytle $t_c$ [s]	22.1	14.4	20.8	13.1
Výsledný dopravní výkon $Q_C$ [pytle·hod <sup>-1</sup> ]	162	250	173	274
Výsledný dopravní výkon $Q_C$ [t·hod <sup>-1</sup> ]	4.1	6.3	4.3	6.9
Výsledný dopravní výkon $Q_C$ [m <sup>3</sup> ·hod <sup>-1</sup> ]	5.2	8.1	5.6	8.9

Tabulka 17 - Přehled hodnot výsledného dopravního výkonu, při plnění pytlů 50x80 cm

	Pytle 56x110 a 56x125 cm			
	Manuální ovládání		Automatizované ovládání	
Počet obsluhujících zaměstnanců	1 zam.	2 zam.	1 zam.	2 zam.
Doba naplnění jednoho pytle $t_{CA}$ [s]	25.6	17.9	24.3	16.6
Výsledný dopravní výkon $Q_{CA}$ [pytle·hod <sup>-1</sup> ]	140	201	148	216
Výsledný dopravní výkon $Q_{CA}$ [t·hod <sup>-1</sup> ]	7.0	10.0	7.4	10.8
Výsledný dopravní výkon $Q_{CA}$ [m <sup>3</sup> ·hod <sup>-1</sup> ]	9.0	13.0	4.7	6.9

Tabulka 18 - Přehled hodnot výsledného dopravního výkonu, při plnění pytlů 56x110 a 56x125 cm

### 5.10 Doba posunování tubusu

Výpočty výše jsou provedeny pro variantu, kdy nedochází k posunu tubusu a tím změně objemu, jelikož četnost posunu je zpravidla nekonstantní a při velké četnosti může rapidně snížit dopravní výkon. Pro výpočet dopravního výkonu konkrétní varianty jsou stanoveny následující rovnice.

$$Q_C = \frac{3600 - t_{zm} \cdot n_z}{t_c} \text{ [pytlů za hodinu]} \quad (44)$$

$$n_z = \frac{n_c}{t_z} \text{ [hod}^{-1}\text{]} \quad (45)$$

### 5.11 Výpočet dopravního výkonu instalované varianty

Instalovaná varianta nebude využívat automatizovaného ovládání, otevírání a zavírání klapky bude obstaráváno zaměstnancem a posun dolního tubusu bude obstaráván taktéž manuálně. Dané zařízení budou obsluhovat dva zaměstnanci, tudíž pro stanovení výsledného dopravního výkonu  $Q_V$  bude použit čas  $t_{C_2}$  a  $t_{C_4}$ . Změna objemu mezi klapkami (posunem dolního tubusu) bude probíhat průměrně jednou za směnu, tedy jedenkrát za 8 hodin. Stanovená doba pro změnu objemu při manuálním posunu posuvného tubusu  $t_{z_m}$  je 60 vteřin.

$$Q_{V_{25}} = \frac{3600 - t_{z_m} \cdot n_z}{t_{C_2}} = \frac{3600 - 60 \cdot 0.125}{14.4} = 249 \text{ pytlů za hodinu} \quad (46)$$

$$Q_{V_{50}} = \frac{3600 - t_{z_m} \cdot n_z}{t_{C_4}} = \frac{3600 - 60 \cdot 0.125}{17.9} = 200 \text{ pytlů za hodinu} \quad (47)$$

$$n_z = \frac{n_c}{t_z} = \frac{1}{8} = 0.125 \text{ hod}^{-1} \quad (48)$$

## **6 Závěr**

Cílem této bakalářské práce bylo variantně navrhnout zařízení na objemové plnění pytlů o velikosti 50x80, 56x110 a 56x125 cm pšenicí, kukuřicí a sójovými boby. Při návrhu zařízení bylo nutné splnit několik základních požadavků, které velmi ovlivnily výběr a konstrukci daného zařízení.

Hlavní podmínkou bylo, aby zařízení bylo schopno provozu i bez dodávky elektrické energie. Z tohoto důvodu byl vybrán klapkový podavač s minimem elektrických spotřebičů. Zařízení využívá pouze dva pneumatické pohony se solenoidními ventily (Valbia 85 a 115), kompresor (Orlík EK 4-2), nabíječku (CTEK MXT 4.0 24 V/4 A) a tlačítko s LED diodou CW1L-M1E10Q4G.

Základním principem plnicího zařízení je ve dvou ocelových válcových částech o různém průměru, přičemž tubus o větším průměru je posunován po horním (druhém) tubusu. Posuvem dolního tubusu je možné nastavovat požadovaný dávkovaný objem. Posun mezi krajními polohami se zajišťuje manuálně, a to posunem dolní části po dvou závitových tyčích M20, každá o délce 1 metru. Závitové tyče jsou připevněny k přírubě zásobníku pomocí dvou matic a slouží také jako šrouby příruby. Pro upevnění posunované části k závitové tyči je na každé straně použit aretační prvek, jenž je přivařen k posunovanému tubusu a na závitové tyči je podepírán rychloupínací maticí. Správný objem dávkovaného materiálu bude určen podle rysek na horním tubusu.

Na horním tubusu je umístěna pneumaticky ovládaná klapka BUW2-250DSW-D32, jež je ovládaná pneumatickým pohonem se solenoidním ventilem Valbia 115, dolní tubus je na výsypce osazen pneumaticky ovládanou klapkou BUW2-150DSW-D32, jež je ovládaná pneumatickým pohonem se solenoidním ventilem Valbia 85. Otvírání a zavírání klapek je ovládáno tlačítkem s LED diodou CW1L-M1E10Q4G. Solenoidní ventily a tlačítko jsou napájeny ze soustavy dvou olovených akumulátorů Exide EB7L, které jsou průběžně dobíjeny z nabíječky CTEK MXT 4.0 24 V/4 A. Stlačený vzduch bude získáván ze vzdušníku DRUKOV ZV 3 000 l. Při poklesu tlaku bude vzdušník doplňován kompresorem Orlík EK 4-2. Baterie a vzdušník jsou koncipovány pro provoz bez dodávky elektrické energie minimálně na 3 hodiny.

Další podmínkou, kterou bylo nutné zohlednit při návrhu plnicího zařízení, byl požadovaný dopravní výkon stanovený hodnotou 190 pytlů, o velikosti 56x110 cm a

56x125 cm, za hodinu. V případě plnění pytlů 50x80 cm je požadovaný dopravní výkon 240 pytlů za hodinu. Maximální dopravní výkon navrhovaného zařízení je 200 pytlů, o velikosti 56x110 cm a 56x125 cm, za hodinu a v případě plnění pytlů 50x80 cm je výsledný dopravní výkon 249 pytlů za hodinu, tudíž tuto podmínku bezpečně splňuje. Hygienická nezávadnost částí, jež budou ve styku s potravinami, bude zajištěna ochranným nátěrem Sika® Permacor® 136 TW.

### **Poděkování**

Na závěr bych rád poděkoval své rodině za podporu nejen při studiu. Dále bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Robertu Brázdovi, Ph.D., a to za jeho cenné rady a připomínky, které mi dopomohly k vypracování této bakalářské práce.



## **7 Seznam použité literatury**

- [1] Klapkový dávkovač ADX. Blažek packaging machines [online]. [cit. 2016-10-29]. Dostupné z: <http://www.blazekpackagingmachines.com/davkovace/klapkovy-davkovac-adx/>
- [2] Šoupátkový dávkovač. 123 internet [online]. [cit. 2016-10-29]. Dostupné z: <https://www.123internet.sk/69776/Soupatkovy-davkovac-DS1>
- [3] Objemové dávkovače. Balící stroje [online]. [cit. 2016-10-19]. Dostupné z: <http://www.balicistroje.cz/cs/11-cs/stroje/50-objemove-davkovace>
- [4] Rotační podavač. Ametic [online]. [cit. 2016-11-12]. Dostupné z: <http://www.ametic.cz/products-rotacni-podavace.cz>
- [5] Rotační směšovací podavače. Gama Pardubice [online]. [cit. 2016-11-12]. Dostupné z: <http://bit.ly/2oPzUUW>
- [6] Dávkovací šnekový podavač s klapkou a čechradlem. Dites [online]. [cit. 2016-11-14]. Dostupné z: <http://bit.ly/2ewzrCF>
- [7] Pásové podavače PPV. DSP Přerov [online]. [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: <http://www.dspprerov.cz/nase-vyrobky/podavace/pasove-podavace-ppv.html>
- [8] Jutové pytle. Svět obalů [online]. [cit. 2016-11-28]. Dostupné z: <http://www.svet-obalu.cz/news/novinka-jutove-pytle/>
- [9] Polypropylenový pytel na obilí 56 x 110 cm. Zemědělské potřeby M+S s.r.o. [online].
- [10] Tabulka č.: 157 Objemové hmotnosti produktů a materiálu. *Agronormativy* [online]. [cit. 2016-11-16]. Dostupné z: <http://www.agronormativy.cz/docs/rpptab5020001.pdf>
- [11] *Katalog uzavíracích klapek Stasto* [online]. [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: [https://www.stasto.eu/crmablage/oc/data/datenblaetter/BUW2040DSCD32\\_CS.pdf](https://www.stasto.eu/crmablage/oc/data/datenblaetter/BUW2040DSCD32_CS.pdf)
- [12] *Sika Permacor 136 TW – katalog: SIKA* [online]. [cit. 2016-3-30]. Dostupné z: <http://bit.ly/2oQO3xO>
- [13] *Sika Permacor 136 TW – bezpečnostní list: SIKA* [online]. [cit. 2016-3-30]. Dostupné z: <http://bit.ly/2oQJAeB>
- [14] *Návrh ručního šroubového stahováku* [online]. 2012 [cit. 2017-04-30]. Dostupné z: [http://homel.vsb.cz/~hru60/CaMS/dvouramennystahovak\\_navod.pdf](http://homel.vsb.cz/~hru60/CaMS/dvouramennystahovak_navod.pdf)
- [15] Rychloupínací matice AMF. *Naros.cz* [online]. [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <http://www.naros.cz/UserFiles/File/pdf/6333s%20katalog.pdf>

- [16] Katalog oceli S355J2 [online]. [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: [http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP\\_%20Tycova\\_ocel/EN\\_10025/MOP-%20Prehled%20vlastnosti\\_S355J2.pdf](http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10025/MOP-%20Prehled%20vlastnosti_S355J2.pdf)
- [17] KALÁB, Květoslav. Části a mechanismy strojů pro 2. a 3. ročník bakalářského studia teorie+projekty. VŠB-TUO, 2015.
- [18] HOSNEDL, Stanislav a Jaroslav KRÁTKÝ. *Příručka strojního inženýra: obecné strojní části*. Praha: Computer Press, 1999. Edice strojaře. ISBN 80-722-6055-3.
- [19] Pneumatic actuators [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://bit.ly/2oNDpY3>
- [20] CATALOGO LISTINO 122 CATALOGUE PRICE LIST [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: <http://www.valbia.it/vextradocs/docs/87/122-VB.pdf>
- [21] Olověný akumulátor 12V/ 8Ah *Autobaterie Pema* [online]. [cit. 2017-02-20]. Dostupné z: [http://www.autobaterie-pema.cz/motobaterie-exide-bike-conventional-12v-8ah-eb71-b\\_147591.html](http://www.autobaterie-pema.cz/motobaterie-exide-bike-conventional-12v-8ah-eb71-b_147591.html)
- [22] Pístový kompresor Orlík EK 4-2. *Januška Kompresory s.r.o.* [online]. [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <https://www.prodej-kompresoru.cz/pistove-kompresory/pistovy-kompresor-orlik-typ-ek-4-2-detail>
- [23] Montážní a provozní návod – nivector FTC 968, FTC 968 Z; Endress+Hauser Czech
- [24] Katalog pneumatických válců. *VSK Profi* [online]. [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: <https://www.vskprofi.cz/vsk-file/1420>
- [25] Festo – podpora. *Festo.cz* [online]. [cit. 2017-04-09]. Dostupné z: <http://bit.ly/2p0JrZz>

**8 Seznam příloh**

BP.TIC0067.01 - Plnicí zařízení

BP.TIC0067.01-K – Plnicí zařízení – kusovník

BP.TIC0067.02 – Dolní tubus s výsypkou

BP.TIC0067.02-K - Dolní tubus s výsypkou – kusovník

BP.TIC0067.03 – Aretační prvek

BP.TIC0067.03-K – Aretační prvek – kusovník

BP.TIC0067.04 – Horní tubus

Schéma minimální a maximální polohy

Kompaktní disk obsahující elektronickou verzi této práce