

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

## **Vynášení biohmoty ze dna zásobníku**

**Biomass Discharge out of Silo Bottom**

Student:

Bc. Jan Vyletělek

Vedoucí diplomové práce:

prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.

Ostrava 2009

## **Prohlášení studenta**

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

V Ostravě.....

.....

podpis studenta

## Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou 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 diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce.
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěné v příloze mé diplomové práce, 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 práci nebo poskytnou 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).

V Ostravě.....

.....

Plné jméno studenta

Adresa trvalého pobytu studenta:

Dlouhá 74

Darkovice

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Vyletělek, J. Vynášení biohmoty ze dna zásobníku. Ostrava: Institut dopravy, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, vedoucí: Zegzulka, J.

V současnosti se přikládá velká váha při využívání obnovitelných zdrojů energie. V mém případě se jedná o biohmotu. Diplomová práce řeší úpravu stávajícího technologického zařízení pro dopravu paliva ve formě biohmoty.

Byla provedena studie možných variant vynášení biohmoty ze zásobníku a její následná doprava. Vybraná varianta je podrobně zpracována a doložená výkresovou dokumentací.

## **ANNOTATION OF THE THESIS**

Vyletělek, J. Biomass Discharge out of Silo Bottom. Ostrava: Institute of transport, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, Thesis, head: Zegzulka, J.

Renewable energy sources utilizations are highlights today, e.g. biomass developed in the thesis. Thesis deals with a modification of an existing technological equipment for transport fuels in the form of a biomass.

A study of possible options in biomass discharging out of a silo bottom and its subsequent transport have been developed. The selected option supported by drawing documentation have been prepared in detail.

## Obsah diplomové práce

Seznam použitého značení.....	7
1. Úvod.....	10
2. Biohmota.....	10
2.1. Charakteristika biohmoty.....	10
2.2. Způsoby zpracování biohmoty.....	11
2.3. Formy a druhy biohmoty .....	12
2.4. Získávání biohmoty .....	16
2.5. Skladování biohmoty .....	19
3. Způsoby vynášení ze zásobníku .....	22
3.1. Posuvná dna .....	23
3.2. Redlerový dopravník.....	24
3.3. Šnekový dopravník .....	25
3.3.1. Žlabový šnekový dopravník.....	26
3.3.2. Víceřadé šnekové odebírače .....	28
3.3.3. Spirální šnekové dopravníky .....	30
3.3.4. Kónické šnekové odebírače .....	31
4. Analýza problematiky .....	33
4.1. Stávající stav .....	33
4.2. Analýza řešení.....	34
4.3. Varianty řešení .....	35
4.4. Výběr varianty řešení.....	44
5. Návrh a výpočet zvolené varianty č. 6.....	45
5.1. Návrh vynášecího dna.....	45
5.1.1. Dopravní množství jedním hrablem .....	45
5.1.2. Výpočet Jansenovy síly .....	49
5.1.3. Odporů působící proti pohybu vynášení.....	52
5.1.4. Síla potřebná k posunutí sekce vpřed .....	55
5.1.5. Odporů působící proti pohybu zpět .....	55
5.1.6. Síla potřebná k posunutí sekce zpět.....	57

5.1.7.	Návrh přímočarého motoru.....	57
5.2.	Návrh šnekového dopravníku .....	59
5.2.1.	Průměr šnekovnice.....	59
5.2.2.	Otáčky šneku.....	60
5.2.3.	Dopravní rychlost .....	60
5.2.4.	Stoupání šnekovnice .....	61
5.2.5.	Součinitel plnění $k_{\varphi}$ .....	61
5.2.6.	Odpory proti pohybu materiálu.....	61
5.2.7.	Návrh motoru .....	63
5.2.8.	Návrh převodovky .....	64
5.2.9.	Skutečné otáčky šneku .....	64
5.2.10.	Změna stoupání šneku .....	65
5.2.11.	Kontrola šnekového dopravníku na rozběh .....	65
5.2.12.	Kroutící moment na hřídeli šneku .....	68
5.2.13.	Návrh průměru spojovacího hřídele .....	68
5.2.14.	Návrh řetězového převodu.....	69
6.	Pevnostní výpočty.....	72
6.1.	Pevnostní kontrola řetězu.....	72
6.1.1.	Kontrola proti přetržení .....	72
6.1.2.	Kontrola měrného tlaku v kloubu řetězu .....	74
6.2.	Kontrola hřídele šneku.....	75
6.2.1.	Kontrola pomocí programu ANSYS.....	75
6.2.2.	Kontrola hřídele na krut.....	77
6.2.3.	Kontrola hřídele na ohyb .....	77
6.2.4.	Výpočet redukovaného napětí dle hypotézy HMH.....	78
6.2.5.	Kontrola koeficientu bezpečnosti .....	78
6.3.	Výpočet průměru spojovacích kolíků .....	79
6.4.	Kontrola spojení hřídele v náboji pomocí pera.....	80
6.5.	Kontrola ložisek.....	81
6.5.1.	Axiální síla působící na ložisko .....	82
7.	Znázornění způsobu vynášení materiálu.....	84
8.	Ekonomické zhodnocení navržené varianty .....	91

9.	Závěr .....	92
9.1.	Parametry vynášecího dna .....	92
9.2.	Parametry šnekového dopravníku.....	92
9.3.	Popis zařízení.....	93
9.4.	Údržba zařízení.....	93
10.	Seznam použitých pramenů .....	94
11.	Seznam příloh .....	95

## Seznam použitého značení

A	plocha kloubu řetězu	[mm <sup>2</sup> ]
C	základní dynamická únosnost ložiska	[N]
D	průměr hřídele šneku	[m]
D <sub>p</sub>	průměr pístu	[m]
D <sub>po</sub>	vnější průměr polotovaru	[m]
D <sub>S</sub>	průměr šnekovnice	[m]
D <sub>t</sub>	průměr řetězového kola	[m]
D <sub>t1</sub>	průměr hnacího řetězového kola	[m]
D <sub>t2</sub>	průměr hnaného řetězového kola	[m]
F <sub>a</sub>	axiální síla působící na ložisko	[N]
F <sub>c</sub>	tahová složka vlivem odstředivé síly	[N]
F <sub>e</sub>	ekvivalentní zatížení	[N]
F <sub>h1</sub>	síla vyvolaná hmotností jedné sekce	[N]
F <sub>K</sub>	síla vyvolaná kroutícím momentem	[N]
F <sub>m</sub>	tahová složka vlivem vlastní tíhy	[N]
F <sub>m1</sub>	síla vyvolaná hmotností materiálu nad sekci	[N]
F <sub>N1</sub>	síla působící na dno pod jednou sekci	[N]
F <sub>o</sub>	obvodová síla	[N]
F <sub>oh</sub>	ohybová síla působící na šnek	[N]
F <sub>p</sub>	síla potřebná k posunutí sekce vpřed	[N]
F <sub>pt</sub>	síla při přetržení	[N]
F <sub>r</sub>	radiální síla působící na ložisko	[N]
F <sub>r1</sub>	síla vyvolaná hmotností materiálu mimo výpusť zásobníku	[N]
F <sub>t</sub>	síla vyvolaná třením materiálu o stěnu zásobníku	[N]
F <sub>T</sub>	síla potřebná k posunutí smykového kroužku	[N]
F <sub>v</sub>	síla působící na hrablo při pohybu zpět	[N]
F <sub>v1</sub>	síla působící na hrablo vlivem Jansenovy síly	[N]
F <sub>v2</sub>	síla působící na hrablo mimo vypusť zásobníku	[N]
F <sub>z</sub>	síla potřebná k posunutí sekce zpět	[N]
F <sub>1</sub>	tah v řetězu	[N]
F <sub>1s</sub>	Jansenova síla působící v násypce šnekového dopravníku	[N]
F <sub>1p</sub>	síla působící na pero v náboji hřídele	[N]
F <sub>11</sub>	Jansenova síla působící na dno zásobníku pro jednu sekci	[N]
F <sub>2</sub>	Jansenova síla působící na stěnu zásobníku	[N]
F <sub>2p</sub>	síla působící na pero v náboji kola	[N]
F <sub>21</sub>	Jansenova síla působící na stěnu zásobníku pro jednu sekci	[N]
H	zdvih hydromotor	[m]
J <sub>max</sub>	moment setrvačnosti plného dopravníku	[kg.m <sup>2</sup> ]
J <sub>min</sub>	moment setrvačnosti prázdného dopravníku	[kg.m <sup>2</sup> ]
K <sub>c</sub>	celkový odpor proti pohybu materiálu šnekového dopravníku	[N]
K <sub>D</sub>	součinitel dynamické bezpečnosti	[-]
K <sub>S</sub>	součinitel statické bezpečnosti	[-]
K <sub>s1</sub>	odpor vyvolaný trháním materiálové vrstvy ve výpusť	[N]
K <sub>s2</sub>	odpor vyvolaný třením materiálu po šnekovnici	[N]



$K_1$	odpor vyvolaný třením materiálu o dno	[N]
$K_2$	odpor vyvolaný třením sekce o dno	[N]
$K_3$	odpor vyvolaný trháním materiálové vrstvy	[N]
$K_4$	odpor tření materiálu o boční vedení	[N]
$K_4'$	odpor tření materiálu o boční vedení pro jednu sekci	[N]
$K_5$	odpor proti pohybu zpět	[N]
$L$	délka šnekového dopravníku	[m]
$L_r$	délka řetězu	[mm]
$M_D$	dynamický moment	[N.m]
$M_K$	kroučící moment šneku	[N.m]
$M_M$	kroučící moment motoru	[N.m]
$M_O$	ohybový moment šneku	[N.m]
$M_S$	statický moment	[N.m]
$O$	obvod výpustného otvoru	[m]
$O_h$	obvod průřezu hrabla	[m]
$O_o$	obvod výpustného otvoru šnekového dopravníku	[m]
$P_D$	výkon pro řetězový převod	[W]
$P_M$	výkon motoru	[W]
$Q$	dopravované množství	[t/hod]
$Q_c$	celkový průtok	[m <sup>3</sup> /min]
$Q_h$	dopravované množství posuvným dnem	[t/hod]
$Q_p$	potřebný průtok při pohybu vpřed	[m <sup>3</sup> /min]
$Q_z$	potřebný průtok při pohybu zpět	[m <sup>3</sup> /min]
$Q_1$	dopravované množství jedním hrablem	[t/hod]
$R$	hydraulický poloměr výpustného otvoru	[m]
$R_e$	mez kluzu	[MPa]
$R_S$	účinný poloměr šneku	[m]
$R_v$	hydraulický poloměr výpustného otvoru šnekového dopravníku	[m]
$S$	plocha výpustného otvoru	[m <sup>2</sup> ]
$S_K$	plocha příčného průřezu kolíku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_o$	plocha výpustného otvoru šnekového dopravníku	[m <sup>2</sup> ]
$S_s$	plocha jedné sekce	[m <sup>2</sup> ]
$S_1$	plocha průřezu vynesena jedním hrablem	[m <sup>2</sup> ]
$S_{11}$	plocha jedné sekce pod výpustí zásobníku	[m <sup>2</sup> ]
$V_h$	objem hrabla	[m <sup>3</sup> ]
$V_m$	objem materiálu mimo výpust'	[m <sup>3</sup> ]
$V_n$	objem měřicí nádoby	[m <sup>3</sup> ]
$V_V$	objem hydraulického válce	[m <sup>3</sup> ]
$V_1$	objem vynesena jedním hrablem	[m <sup>3</sup> ]
$W_K$	průřezový modul v krutu	[m <sup>3</sup> ]
$W_O$	průřezový modul v ohybu	[m <sup>3</sup> ]
$X$	počet článků	[ks]
$Y$	činitel rázů	[-]
$a$	osová vzdálenost řetězových kol	[mm]
$a_{sk}$	skutečná osová vzdálenost řetězových kol	[mm]
$b$	šířka pera	[mm]
$b_h$	šířka hrabla	[m]

$b_s$	šířka sekce	[m]
$b_z$	šířka výpustného otvoru zásobníku	[m]
$d$	průměr spojovacího hřídele	[m]
$d_h$	průměr válcového konce hřídele	[m]
$d_K$	průměr spojovacího kolíku	[mm]
$d_p$	průměr tyče pístu	[m]
$d_{po}$	vnitřní průměr polotovaru	[m]
$f_e$	součinitel vnitřního tření materiálu	[-]
$f_o$	součinitel tření běžné oceli o nerezovou ocel	[-]
$f_w$	součinitel vnějšího tření	[-]
$g$	gravitační zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
$h$	stoupání šnekovnice	[m]
$h_0$	charakteristická výška	[m]
$h_z$	výška zásobníku	[m]
$i$	převodový poměr	[-]
$i_K$	počet kolíků	[ks]
$i_s$	počet sekcí	[ks]
$i_{skut}$	skutečný převodový poměr převodovky	[-]
$k$	koeficient sypanosti dopravovaného materiálu	[-]
$k'$	koeficient bezpečnosti hřídele	[-]
$k\varphi$	součinitel plnění šnekového dopravníku	[-]
$l$	skutečná délka pera	[mm]
$l'$	základní délka pera	[mm]
$l_h$	požadovaná trvanlivost ložiska	[hod]
$l_{h10}$	skutečná trvanlivost ložiska	[hod]
$l_k$	délka postranní výztuhy	[m]
$l_t$	délka táhla	[m]
$l_s$	délka sekce	[m]
$l_z$	délka výpustného otvoru zásobníku	[m]
$l_1$	vzdálenost od působíště síly k ložisku	[m]
$m$	hmotnost šneku	[kg]
$m_h$	hmotnost hrabla	[kg]
$m_{hš}$	hmotnost hřídele šneku	[kg]
$m_k$	hmotnost postranní výztuhy sekce hrabel	[kg]
$m_m$	hmotnost měřeného materiálu	[kg]
$m_q$	hmotnost materiálu plného šneku	[kg]
$m_s$	hmotnost sekce hrabel	[kg]
$m_{š}$	hmotnost šnekovnice	[kg]
$m_t$	hmotnost táhla sekce hrabel	[kg]
$m_1$	hmotnost materiálu vynesena jedním hrablem	[kg]
$m_{1m}$	hmotnost jednoho metru polotovaru	[kg]
$m_{1r}$	hmotnost jednoho metru řetězu	[kg]
$n$	otáčky šneku	[1/s]
$n_M$	otáčky motoru	[1/s]
$n_{skut}$	skutečné otáčky šnekového dopravníku	[1/min]
$n_{š}$	počet závitů šneku	[ks]
$n_z$	počet zdvihů hydromotor	[1/min]

$p$	měrný tlak v kloubu řetězu	[MPa]
$p_D$	tlak dovolený	[MPa]
$p_v$	měrný tlak v kloubu řetězu	[MPa]
$p_p$	pracovní tlak hydromotoru	[Pa]
$p_1$	tlak působící na pero v náboji hřídele	[MPa]
$p_2$	tlak působící na pero v náboji kola	[MPa]
$r$	poloměr šnekovnice	[m]
$t$	tloušťka stěny polotovaru	[m]
$t_{\xi}$	rozteč článků řetězu	[mm]
$t_{rmax}$	maximální doba rozběhu	[s]
$t_{rmin}$	minimální doba rozběhu	[s]
$v$	dopravní rychlost šnekového dopravníku	[m/s]
$v_h$	výška hrabla	[m]
$v_r$	rychlost řetězu	[m/s]
$w$	měrný odpor proti pohybu	[-]
$x$	délka zasypání dopravovaným materiálem před hrablem	[m]
$y$	ýška zasypání dopravovaným materiálem před hrablem	[m]
$z_1$	počet zubů hnacího řetězového kola	[mm]
$z_2$	počet zubů hnaného řetězového kola	[mm]
$\gamma_s$	sypná tíha dopravovaného materiálu	[N/m <sup>3</sup> ]
$\varepsilon$	úhel stoupání šnekovnice	[deg]
$\eta$	mechanická účinnost	[-]
$\lambda$	součinitel sklonu dopravníku	[-]
$\lambda_t$	součinitel tření v kloubu řetězu	[-]
$\mu$	činitel mazání	[-]
$\pi$	Ludolfovo číslo	[-]
$\rho_o$	hustota oceli	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_s$	sypná hmotnost dopravovaného materiálu	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\sigma_o$	napětí v ohybu	[MPa]
$\sigma_{red}$	redukované napětí	[MPa]
$\sigma_1'$	Jansenovo napětí působící na dno zásobníku	[MPa]
$\sigma_{11}'$	Jansenovo napětí působící na dno pro jednu sekci	[MPa]
$\sigma_2'$	Jansenovo napětí působící na stěnu zásobníku	[MPa]
$\sigma_{21}'$	Jansenovo napětí působící na stěnu zásobníku pro jednu sekci	[MPa]
$\tau_{DK}$	dovolené napětí v krutu	[MPa]
$\tau_{DS}$	dovolené smykové napětí	[MPa]
$\tau_K$	napětí v krutu	[MPa]
$\tau_S$	smykové napětí	[MPa]
$\tau_0$	počáteční soudržné napětí	[MPa]
$\varphi$	činitel provedení řetězu	[-]
$\varphi_e$	úhel vnitřního tření dopravovaného materiálu	[deg]
$\varphi_w$	úhel vnějšího tření dopravovaného materiálu	[deg]
$\chi$	činitel výkonu	[-]
$\psi_s$	přirozený sypný úhel dopravovaného materiálu	[deg]
$\omega$	úhlová rychlost šnekového dopravníku	[rad/s]

## 1. Úvod

Lidstvo je v dnešní energeticky náročné době nuceno hospodárněji nakládat se spotřebou energie a zvýšit produkci využitím obnovitelných zdrojů. Částečným řešením může být energetické zhodnocování biohmoty, jejíž energetický potenciál několikrát převyšuje roční celosvětovou spotřebu energie.

Česká republika kryje své energetické potřeby malým podílem využívání obnovitelných zdrojů. V České republice jsou vzhledem k velké rozloze půdy, která je využívána k zemědělským a lesnickým účelům (asi 87 % z celkové rozlohy), dobré podmínky pro energetické využití biohmoty. K energetickým účelům je možné využít asi 8 mil. tun pevné biohmoty. Přesto se biohmoty podílejí na energetických zdrojích necelým 1%. Situace se však pomalu zlepšuje, a to zásluhou řady výrobců, kteří přišli na trh s výrobou kotlů, pro efektivnější spalování biohmoty. Za hlavní překážky potřebného rozvoje se však považuje podceňování významu biopaliv jako obnovitelného zdroje energie a nedostatek financí pro realizaci větších akcí. Přitom využívání biopaliv by mohly mít za určitých podmínek vedle významu ekologického i význam ekonomický pro jejich výrobce i spotřebitele.

## 2. Biohmota

### 2.1. Charakteristika biohmoty

Biohmota je organická hmota rostlinného nebo živočišného původu. Tímto pojmem často označujeme rostlinnou biohmotu využitelnou pro energetické účely. Energie má svůj prapůvod ve slunečním záření a fotosyntéze, proto se jedná o obnovitelný zdroj energie.

Mezi ty základní druhy patří kusové dřevo, dřevní odpad, odpady zemědělské výroby, avšak řadíme zde také suché části rostlin pěstovaných k účelu spalování (topol, osika, vrba, šťovík, konopí, sloní tráva apod.).

Spalováním biohmoty uvolňujeme do ovzduší zhruba tolik oxidu uhličitého, kolik si rostlina vzala z ovzduší pro svůj růst v průběhu života, čímž se uzavírá koloběh (obr. 1).



Obr. 1: Schéma cyklu biohmoty [12]

## 2.2. Způsoby zpracování biohmoty

Způsoby zpracování se dělí na suché procesy, jako je spalování, zplyňování a pyrolýza a na procesy mokré, které zahrnují anaerobní vyhnívání a lihové kvašení.

### Spalování biohmoty

Nejjednodušší metodou pro termickou přeměnu biohmoty je spalování za dostatečného přístupu kyslíku. Produktem je tepelná energie, která se následně využije pro vytápění, technologické procesy nebo pro výrobu elektrické energie.

## **Zplyňování biohmoty**

Zplyňování probíhá při nižších teplotách kolem 500 [°C] a za atmosférického tlaku ve vrstvě biohmoty. Vzduch jako okysličovací médium proudí buď v souproudu (směr dolů) nebo v protiproudu (směrem nahoru) vzhledem k postupnému pohybu zplyňovaného biopaliva. Popelové zbytky se odvádějí ze spodní části reaktoru. Nevýhodou tohoto systému je značná tvorba dehtových látek, fenolů apod., jejichž odstranění je pak největším problémem.

## **Pyrolýza**

Pyrolýza je fyzikálně-chemický děj, řadící se do relativně široké skupiny termických procesů. Rychlá pyrolýza je jedním z nejnovějších procesů ve skupině technologií, které mění biohmotu na produkty, jako jsou plyny, kapaliny a pevné látky. Jejím primárním energetickým produktem je kapalina – bio-olej, kterou lze snadno skladovat a přepravovat.

### **2.3. Formy a druhy biohmoty**

Základními druhy biohmoty jsou dřeviny a stébelniny, které pro lepší manipulaci a skladování upravujeme a formujeme.

#### **Zemědělský odpad (sláma, seno)**

Termín sláma označuje vymláčené vyschlé stonky a stébla v širším významu ze všech polních plodin a v užším významu pouze z obilnin.

Seno se vyrábí z píce (především z trávy, ale také např. z jetele), které jsou posekány a vysušeny na vzduchu. Poté jsou speciálními stroji sbalikovány. Balíky mají tvar válců nebo kvádrů. Seno je využíváno zejména jako píce a sláma k podestýlání, ale ve smyslu zemědělského odpadu je využíváme jako biopaliva, surovinu pro výrobu aglomerovaných materiálů, může sloužit i pro výrobu papíru, briket a pelet.

## **Polena**

Vyrábějí se rozřezáním celých stromů na kousky o délce 30-50cm. Polena se využívají k topení v největší míře na venkově a dále také k vytápění pomocí krbových kamen.



*Obr. 2: Dřevní polena [12]*

## **Štěpka**

Je získávána jako odpad z dřevozpracujícího průmyslu, ale může být i výsledkem záměrné výrobní činnosti.



*Obr. 3: Dřevní štěpka [12]*

## Lesní štěpka

Je různorodou surovinou, obsahující komponenty dříví, kůry, jehličí a listnaté zeleně, drobné větvičky a nedřevěné příměsi.

Výhřevnost štěpky silně závisí jednak na jejím druhu, ale především na její vlhkosti. Předpokládá se, že obsažená voda uniká ve formě páry a rozdíl výhřevnosti je tedy dán energií potřebnou pro odpaření obsažené vody. Předpokládá se, že dřevo obsahuje min. 10% vody.

## Pelety

Peleta je granule o průměru 6 až 20 mm a délce 40 mm. Podoba granulí je dosažena vysokotlakým lisováním dřevního odpadu (především pilin) za teploty, při které lignin plastifikuje a přejímá funkci pojiva udržující pelety v příslušném tvaru. Kromě toho lignin chrání pelety proti přijímání vlhkosti při jejich uskladnění.

Peleta je palivo ryze rostlinného původu s řadou příznivých vlastností a parametrů. Pelety se vyrábí ve specializovaných výrobnách, které jsou označovány jako peletárny. Někdy se k jejich výrobě také používá sláma, řepková sláma či průmyslový šťovík. Mezi základní parametry tohoto fytopaliva patří především jeho nízká popelnavost a nízký obsah vody. Výhřevnost pelet se pohybuje okolo 18 MJ / kg a jejich pevnost významně ovlivňuje obsah dřevního prachu. Povaha pelet snižuje nároky na skladovací prostory za podmínek udržení suchého prostředí.

Pelety z alternativních zdrojů mají stejné technické parametry jako pelety ze dřeva, jsou však levnější.



*Obr. 4: Dřevní peleta [12]*





*Obr. 5: Peleta ze slámy [12]*

### **Piliny**

Piliny jsou výchozí surovinou pro výrobu dřevěných briket či pelet. Musí být bez jakýchkoliv znečišťujících příměsí (laků, lepidel, kamínků, atd.). Jsou to piliny z prvotního pořezu dřeva na pilách, nikdy ne z nábytkářských provozů.



*Obr. 6: Dřevní piliny [12]*

### **Brikety**

Briketování je nejrozšířenější a nejstarší technologií zhutňování. Produktem jsou brikety válcového, n-úhelníkového nebo kvádrového tvaru. Tvar a kvalita brikety úzce souvisí s použitou technologií výroby. Vzhledem ke své velikosti nejsou brikety vhodné pro automatizované spalování, avšak lehko vzplanou, hoří stabilním plamenem a bez kouře až 90 minut. Jejich hustota je až 1,4 kg/dm<sup>3</sup> a výhřevnost 18 MJ/kg, takže převyšují výhřevnost hnědého uhlí. Jsou vhodné téměř do všech typů kotlů, krbů a kamen na tuhé palivo.

## 2.4. Získávání biohmoty

Získávání biohmoty je zdlouhavý proces sklizení, drcení, sušení a dalších mezioperací, které zkvalitňují biohmotu jako palivo.

### Sklizení biohmoty

Sklizením biohmot rozumíme především sklizňové a zpracovatelské stroje, sušící zařízení, tvarovací zařízení a stroje pro dopravu. Jedná se tedy o rozsáhlý komplex zařízení, která jsou jen v některých rysech shodná se zařízeními na využití fosilních paliv.

Soubor sklizňových strojů biohmot se liší podle toho, zda jde o stroje na získávání paliva dřevního charakteru nebo paliva ze stébelnin. U dřeva jsou to v oblasti lesních provozů běžná těžební zařízení, doplněná štěpkovacími stroji na zpracování jinak obtížně využitelného odpadu, případně štípacími stroji a kombinovanými řezacími a štípacími stroji. Piliny z dřevozpracujícího průmyslu jsou zpracovávány na sušičkách pilin a briketovacími a peletovacími stroji.

Stébelniny mají v současné době jako rozhodující sklizňové stroje lisy na obří válcové nebo kvádřové balíky s hmotností 300 až 500 kg, doplněné rozpojovacím zařízením v linkách zpracování slámy do briket nebo před spalovacím zařízením. Při sklizni, zejména celých energetických rostlin nastojato nebo i z řádků mohou být nasazeny i sklízecí, většinou samojízdné řezačky. Ty po úpravě mohou být používány i ke sklizni "polního dříví", topolů a vrb.

1. Pořezání a snopkování. Jednoduché přídavné zařízení na traktor nebo specializovaný sklízecí stroj podřezává v dané výšce pruty a spojuje je do snopků, které se buď ponechají na plantáži anebo se odvázejí hned na místo konečného zpracování. Tento způsob je náročnější na manipulaci, ale stroje jsou jednodušší (univerzální).

2. Pořezání a štěpkování. Tento způsob využívá většinou samojízdné, ale i tažené sklízecí stroje schopné okamžité výroby dřevní štěpky přímo na poli. Ta má vyšší vlhkost, ale je snadněji manipulovatelná a dopravovatelná.



*Obr. 7: Sečení sklízecí řezačkou [12]*

### **Sušení biohmoty**

Sušení má význam především u rychlerostoucích dřevin sklízených s běžnou biologickou vlhkostí. Existují v podstatě dvě metody:

- dosoušení hrubé štěpky na roštích pod střechou přirozeným průvanem nebo nucenou ventilací
- dosoušení "snopkovaných" rychlerostoucích dřevin na hromadách přes léto před jejich seštěpkováním.

Surové piliny se suší výhradně uměle horkým vzduchem před jejich briketováním. Jako paliva se k tomu zpravidla využívá až 25% samotných pilin. Umělé sušení podstatně zdražuje výrobu biopaliv a mělo by se omezovat, resp. toto palivo by se mělo spalovat pouze ve speciálních zařízeních, která to umožňují, neboť jsou vybavena velkými "dosoušecími" spalovacími komorami a kondenzátory unikající páry.

### **Tvarovací stroje biohmoty**

K tvarovacím strojům na biohmoty patří především pístové briketovací stroje s průměrem briket 50 až 100 mm, paketovací stroje – kompaktoři s průměrem výrobků

150 až 300 mm a peletizační protlačovací a formovací stroje s výrobky o průměru 6 až 20 mm.

Dále také drtiče, které jsou schopny drtit všechny druhy dřeva např. pražce, ale především odpady dřevozpracujícího průmyslu. Na obr. 8 je zobrazen pomaluběžný dvourotorový drtič. Velikost výstupní frakce 200 – 500 mm.



*Obr. 8: Pomaluběžný dvourotorový drtič fa. CODET s.r.o. [12]*

Na obr. 9 je rychloběžný drtič s pevnými noži (štěpkovač). Velikost výstupní frakce cca 40 – 80 mm.



*Obr. 9: Rychloběžný drtič fa. CODET s.r.o. [12]*

## 2.5. Skladování biohmoty

Orientační údaje o velikostech skladovacích prostor pro skladování některých biohmot.

Palivo	Hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Skladovací prostor [m <sup>3</sup> /MWh]
Palivové dříví - polena	320 - 450	0,6 – 0,8
Palivové dříví - odřezky	210 - 300	0,9 – 1,2
Štěpka	270 - 380	<b>1,3</b>
Rašelina	350 - 400	0,8
Sláma	80 - 100	<b>3</b>
Dřevěné brikety	800 - 1 100	0,25 – 0,3

### Skladování polen dřeva

Polena dřeva mohou být uloženy na paletu a tvořit tak manipulační jednotku, se kterou se dá snadno manipulovat, ale také je lze skládat na sebe do dvou řad, čímž sníží plochu na skladování.



Obr. 10: Paleta s poleny dřeva [12]

## **Skladování balíků slámy (sena)**

Dnes se balíky slámy a sena balí do igelitové sítě z důvodu delší životnosti a kvality. Zabalené balíky slámy se dobře skládají na sebe do stohu (obr. 11). Balíky dobře drží tvar, nevyvracejí se a jsou odolnější vůči vlhkosti, protože voda stéká po síťovině dolů.

Takto zabalené balíky se nemusí svážet pod střechu a mohou se skladovat na poli.



*Obr. 11: Stoh balíků slámy [12]*

## **Skladování sypké biohmoty (štěpky, pelety)**

Sypká biohmota bývá převážně skladována v zásobnících. Piliny a štěpka s vlhkostí nad 25 %, není-li zajištěno intenzivní větrání, začíná toto palivo po určité době degradovat a plesnivět. Vedle snižování výhřevnosti to přináší i zdravotní nebezpečí od spor a plísní a také možnost samovznícení. Z pohledu skladování a manipulace jsou vhodnější pelety.

Rozdělení podle tvaru:

- Bunkry –nízké zásobníky
- Sila -vysoké zásobníky

## **Bunkry**

Mají menší kapacitu a jsou určeny ke krátkodobému skladování. Mohou být nadzemní, ale také podzemní. Bývají ocelové, ale také betonové.

## **Sila**

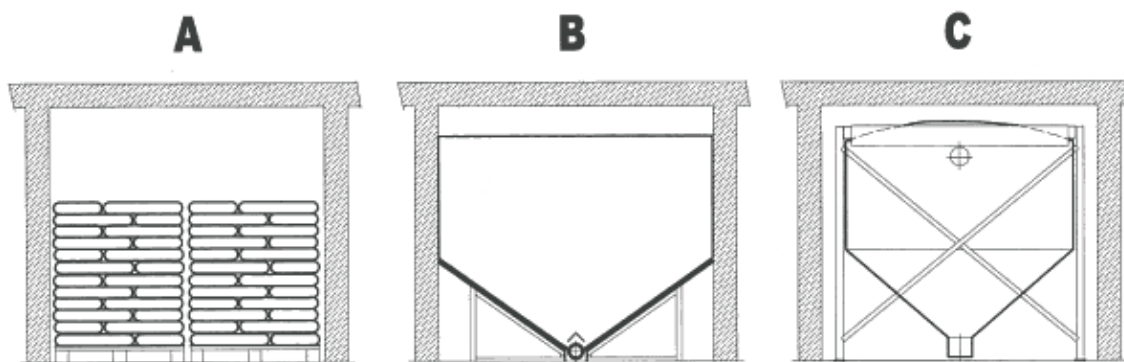
K vytvoření větší zásoby na delší dobu. Vhodné pro jemnozrnné dobře sypké materiály.

Bunkry a sila jsou zaplňovány shora a vyprazdňovány zdola, kam se přemístí materiál vlastní tíhou. Na plynulé vyprazdňování má vliv tvar výpustě i samotného zásobníku.

Základní možnosti skladování pelet zobrazuje obr. 12. Jednou z možností je skladovat peletky v pytlích ve skladech. Ze skladů lze pak pelety dopravovat ke kotli buď ručně, varianta A nebo ze zásobníku pomocí podavačů pelet, varianty B a C. Šnekový dopravník doplňuje pelety ze skladu průběžně podle požadavku. Pneumaticky pomocí podtlaku "nafoukává" pelety ze skladu antistatickými hadicemi na vzdálenost až 15 m s převýšením do 6 m. Tvar zásobníku je proveden tak, aby maximálně respektoval prostor, který je pro stavbu k dispozici. Ploché dno zásobníku může být opatřeno hydraulicky ovládaným vyprazdňovacím zařízením (pohyblivé dno), jehož součástí je i vyhrnovací šnekový dopravník, nebo přímo vynášecím šnekem.

Zásobník bývá vybaven měřením hladiny zabezpečující funkci vyprazdňovacího zařízení a blokády předchozího i následného zařízení. Teplota štěpky v zásobníku by měla být monitorována, v případě jejího zvýšení dojde v závislosti na aktuálním objemu buď k rychlému vypuštění štěpky do spalovací komory nebo k hašení z přípojky hasící vody.

Zásobník a jeho zařízení musí být vybaveno potřebnými lávkami a plošinami potřebnými pro běžnou údržbu.



*Obr. 12: Zásobníky pro pelety [12]*

Varianta A - skladování v pytlích.

Varianta B - skladování ve vyspádovaných skladech (zásobnících). Skladová místnost je vyspádována pod úhlem 35 až 40° do sběrného žlabu, ve kterém je umístěn vynášecí šnek šnekového dopravníku.

Varianta C - skladování ve velkoobjemových vacích o objemu 2 až 10 m<sup>3</sup>. Jsou vyrobené ze speciální antistatické textilie vyspádované do sběrného místa, ve kterém je umístěná sběrná sonda pro pneumatický, či šnekový podavač, sklad není zapotřebí stavebně upravovat, ale objemová využitelnost je do 45 %.

### **3. Způsoby vynášení ze zásobníku**

Zásobník slouží ke skladování štěrky nebo peletek na dobu, po kterou nebude štěrka dodávána. Dno zásobníku je vybaveno zařízením pro vynášení štěrky ze zásobníku.

Ze zásobníku může být skladovaný materiál vynášen nejrůznějšími pohyblivými dny nebo tzv. vyhrnovacím šnekovým či redlerovým dopravníkem.



### 3.1. Posuvná dna

Materiál spočívající na vynášecím členu posuvného dna je jím strháván a unášen ze zásobníku. Posuvné dno vykonává translační pohyb a zajišťuje pouze vynášení ze zásobníku, tudíž na něj musí navazovat další dopravní prvek nejčastěji šnekový nebo redlerový dopravník.



Obr.13: Posuvná dna [12]

## 3.2. Redlerový dopravník

Redler je dopravník, jehož tažným prvkem je řetězové pásmo s unášeči. Materiál se posouvá v uzavřeném žlabu v průřezu větším než je čelní plocha unášeče. Materiál vrchní vrstvy spočívá na materiálu vrstvy spodní a je unášen rozdílem vnitřních sil. Rychlost pohybu je menší než rychlost pohybu pásma. Redlery jsou vhodné pro přepravu práškových a zrnitých materiálů do kusovitosti max. 50 mm a do teploty až 300 °C. Nejsou vhodné pro dopravu abrazivních, lepidelných a drtitelných materiálů. Bývají vodorovné svisle i úklonné.

Hlavní části redlerových dopravníků

- Poháněcí stanice
- Vratná stanice
- Žlab
- Víko
- Řetěz s unášeči
- Vedení
- Mezidno
- Napínací ústrojí



Obr. 14: Redlerový dopravník fa SLAV-CHains [12]

Poháněcí stanice je obdobná jako u jiných řetězových dopravníků. Tvar řetězového kola je přizpůsoben typu řetězu. Součástí poháněcí stanice je napínací zařízení. Žlab je složen z plechů o tloušťkách 3÷8 mm. Průřez žlabu má tvar obdélníku. Dno bývá opatřeno kluznými lištami pro vedení řetězového pásma. Řetězové pásmo s unášeči je tvořeno speciálními kloubovými redlerovými řetězy.

### **3.3. Šnekový dopravník**

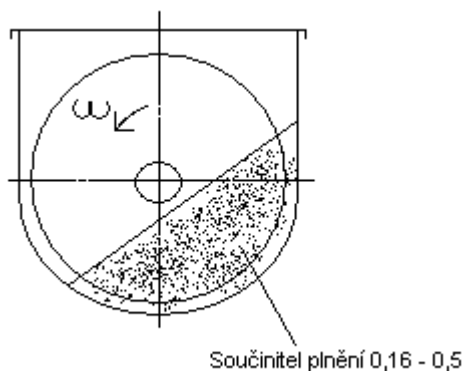
Šnekové dopravníky slouží pro dávkování a dopravu jak sypkých a jemně zrnitých materiálů, tak kašovitých hmot a směsí. Umožňují snadné a účinné vyprazdňování a plnění různých zásobníků, mixérů, kontejnerů a násypek balících strojů, a dále mohou být použity pro mezioperační dopravu. Způsob jejich konstrukce umožňuje instalaci přímo pod výpusť zásobníků nebo násypek.

Šnekové dopravníky jsou vyráběny v provedení trubkovém nebo korytovém

Dopravu materiálu zajišťuje otáčející se šnekovnice přivařená na trubce. Šnekovnice je poháněna převodovkou s elektrickým motorem, která může být umístěna na začátku nebo na konci dopravníku.

Princip dopravy:

Tření mezi materiálem a pohybujícím se šnekem je menší než tření mezi materiálem a nepohyblivým žlabem. Díky tomuto dochází k pohybu materiálu v dopravníku. Celý průřez žlabu dopravníku nesmí být zaplněn dopravovaným materiálem, v důsledku čehož by došlo k vytvoření jakési zátky, která by se pouze otáčela se šnekem jako jeden celek. Materiál musí mít tolik volnosti, aby kromě pohybu ve směru žlabu došlo i k pohybu ve směru otáčení šneku. Tento pohyb způsobuje promíchávání vrstvy materiálu. Tomu odpovídá i tzv. součinitel plnění který se pohybuje v rozsahu 0,16 – 0,5.



Obr. 15: Řez šnekovým dopravníkem [2]

Rozdělení dle šnekovnice:

- plná
- obvodová
- lopatková, míchací
- bezosá
- hřebenová
- přerušovaná

Rozdělení dle stoupání:

- pravé
- levé
- kombinované

Rozdělení dle umístění pohonu:

- tlačné
- tažné

### 3.3.1. Žlabový šnekový dopravník

Hlavními částmi dopravníku jsou pohon, šnek a žlab. Pohon tvoří elektromotor buďto převodový nebo s frekvenčním měničem. Kroutící moment se přenáší z výstupního hřídele převodovky na šnekový hřídel pomocí pružné spojky. Šnek je nejdůležitější částí dopravníku a určuje jeho vlastnosti. Šnek tvoří šnekovnice navařená na hřídeli, který může být trubkového nebo plného průřezu. Šnek může mít také více

šnekovnic o různém stoupání na jednom hřídeli. Stoupání se volí pro malé průměry  $h=D$ , pro větší průměry  $h= 0,8.D$ .

Provedení šnekovnic:

- **plná** je tvořena plochým závitem, který je svým vnitřním průměrem uchycen na hřídeli šneku
- **obvodová** je určena pro dopravu hustých a lepkavých materiálů. Š nerovnice je tvořena šroubovou plochou upevněné ke hřídeli v určité odlehlosti pomocí držáků. Tento šnek nemá kouty mezi hřídelí a šnekovnicí proto se materiál nenalepuje
- **lopatková** nebo-li míchačí je tvořena speciálními segmenty, které dopravují a zároveň promíchávají materiál
- **kuželová** je používána pro speciální účely. Šnekovnice má proměnné stoupání. Na vstupu je nejmenší průměr který materiál nakypří. Používá se pro kompresibilní materiály.

Nosnou část dopravníku tvoří žlab, který mívá tvar písmene U nebo průřezu kruhového. Vůle mezi šnekem a žlabem se volí 5 až 10 mm, ale záleží na výrobní toleranci šneku a druhu dopravovaného materiálu. Materiál se do žlabu přivádí shora v libovolném místě, přičemž musí být přivádění rovnoměrné. Odvádění je možné také v jakémkoli místě dopravníku, avšak pouze dnem žlabu. Využíváním speciálních výstelek žlabu se snižuje hluk a zvyšuje otěruvzdornost.



*Obr. 16: Šnekový dopravník fa TESACO [12]*

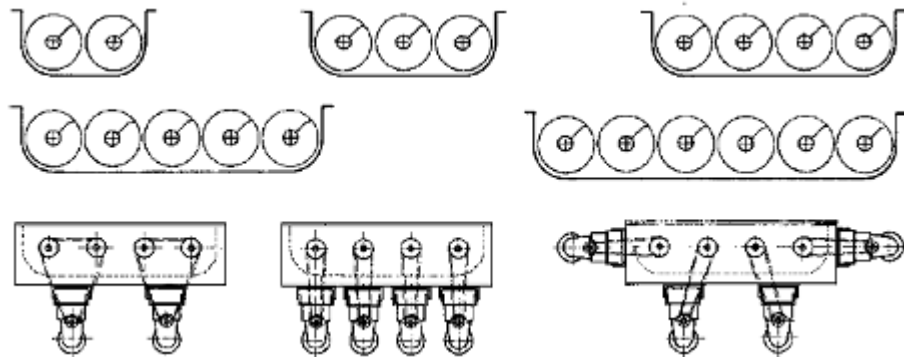
### **3.3.2. Víceřadé šnekové odebírače**

Víceřadé šnekové odebírače nazývané také „pohyblivé dno“ byly vyvinuty na základě dlouholetých zkušeností s aplikacemi dopravních systémů pro různé sypké materiály. Konstrukce těchto šnekových dopravníků z nich vytvořila ideální zařízení pro dokonalé vyprazdňování sil a zásobníků s rozličnými materiály.

Konstrukce odebírače se skládá ze žlabu, jehož horní příruba tvoří dno zásobníku, vyrobeného z konstrukční oceli. Ve žlabu je umístěno 2 až 6 šnekovnic s variabilním stoupáním. Šnekovnice mohou být spirální nebo lopatkové s různými průměry. Převodovka přímá nebo převodovka s řetězem či řemenem pohánějící jeden nebo více šneků.



Obr. 17: Víceřadý šnekový vynašeč pro zásobníky [12]



Obr. 18: Schéma provedení počtu šnekovnic s pohony [12]

Výhody:

- konstantní odebírací výkon
- široká odebírací plocha
- zabraňuje klenbování
- zabraňuje segregaci
- zajišťuje plynulé odebírání i problematického materiálu

### 3.3.3. Spirální šnekové dopravníky

Materiály jsou přepravovány vysoce pevnou spirální šnekovnicí, bez centrálního hřídele, která se pohybuje po speciální, odolné vystýlce žlabu. Šnekové dopravníky mají speciální konstrukci i pro přepravu těžkých a heterogenních materiálů.



*Obr. 19: Spirální šnek fa. Kešner [12]*

Šnekovnice bez hřídele nabízí možnost vysokých objemových výkonů při dopravě materiálů se sklonem k namotávání se, spěchování se, stejně jako pro materiály s rozdílnou velikostí částic. Konstrukční materiál šnekovnice, tloušťka a speciální výrobní proces garantují vysokou odolnost proti otěru a tím dlouhou

životnost zařízení. Koryto tvaru U je vyrobeno z oceli nebo nerezové oceli. Absence středových meziložisek zaručuje volný tok materiálu a zabraňuje případnému zhušťování a pěchování materiálu. Hygienická čistota dopravníku je dána hermetickým utěsněním. Nedochází k zápachu, protože je možný rozsáhlý přístup ke všem vnitřním částem dopravníku při čištění.

Minimální údržba vychází z absence meziložisek a koncového ložiska na vstupu do dopravníku.



Rozsáhlý výběr materiálů a tvarů vystýlky, je volen vzhledem k charakteristice dopravovaného materiálu.

výhody :

- doprava těžkých materiálů
- minimální zastavěná plocha
- jednoduché čištění a minimální zápach
- vysoká účinnost
- veškerý materiál je vyložen
- jednoduchá konstrukce ( minimum součástí )
- nevyžaduje složitou obsluhu
- modulární systém, jednoduše upravitelný pro rozdílné aplikace
- extrémní univerzálnost

Šnekové dopravníky mají své uplatnění a jsou ideálním zařízením pro tyto aplikace přepravy těžkých materiálů bez jeho poškození :

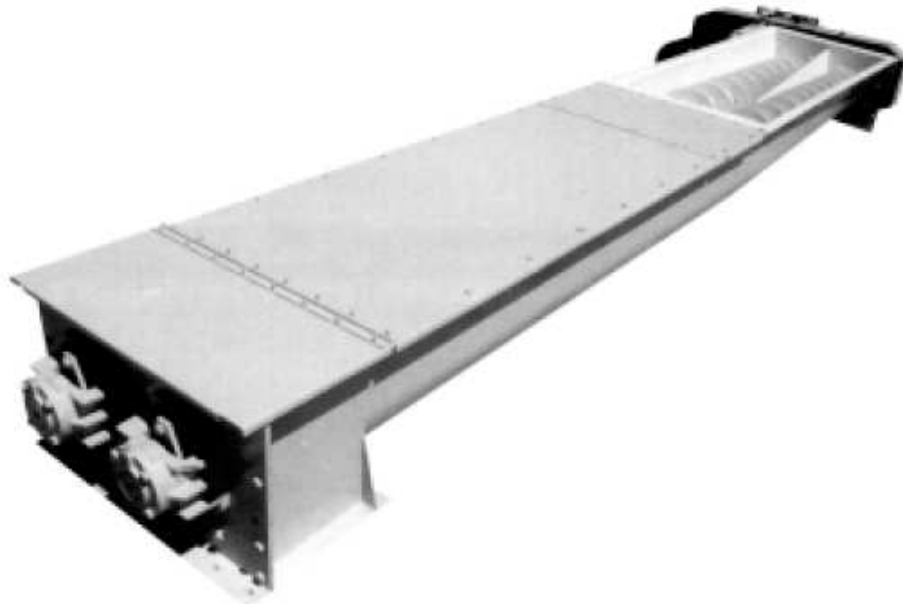
- rašelina a zahradní odpady
- biologické a průmyslové odpady
- zrnité směsi a sypké materiály
- dlouhé pruhy papírového odpadu
- občanské a průmyslové odpady
- popílky a granulované materiály
- hnojiva, plasty

### **3.3.4. Kónické šnekové odebírače**

Dvouhřídelový kónický šnekový odebírač byl vyvinut na základě dlouholetých zkušeností s aplikacemi dopravy různých sypkých materiálů a jejich testováním na celém světě. Úpravy a zlepšení aplikovaná na těchto dopravnících z nich vytvořila ideální zařízení pro dokonalé vyprazdňování sil a zásobníků s rozličnými materiály:

- mleté produkty, mouka, otruby..
- nehomogenní materiály, dřevěné odřezky, papír...
- materiály které klenbují, piliny, soja, ...

Odebírače jsou vyrobeny z konstrukční oceli. Horní příruby se připojují na dno zásobníku. Uvnitř jsou dvě kované konické šnekovnice navařené na hřídeli. Šnekovnice mají zvětšující se stoupání. Koryto odebírače je zúžené, tak aby kopírovalo profil šnekovnice. Pohon a převodovka s mechanickým variátorem je uchycena na straně výstupu materiálu.



*Obr. 20: Dvuhřídelový kónický šnekový odebírač fa HAS [12]*

Tato konstrukce nabízí následující výhody:

- podporuje tok materiálu
- poskytuje širokou odebírací plochu
- zabraňuje klenbování
- zabraňuje segregaci
- zajišťuje plynulé odebírání i problematického materiálu
- má velmi robustní odolnou konstrukci
- je vysoce spolehlivá

## 4. Analýza problematiky

Náhradou fosilních paliv biopalivy došlo ke změně mechanicko-fyzikálních vlastností materiálu, jehož negativním jevem je klenbování a tvorba nálepů na stěny zásobníku. Z toho důvodu byla provedena rekonstrukce zásobníku. Změnou paliva je třeba navrhnout novou dopravní cestu materiálu ze zásobníku ke kotli K5.

Úkolem je navrhnout varianty řešení z nichž bude vybrána ta nejvýhodnější.

Vybranou variantu podložit technologickými a pevnostními výpočty.

### 4.1. Stávající stav

Palivo je ze skládky dopravováno do kotelny na reverzní transportér, který pojíždí nad zásobníky kotlů a střídavě je plní. Zásobník paliva kotle K5 je svařen z ocelového plechu a zavěšen na samostatné ocelové konstrukci uvnitř kotelny K5. Zásobník kotle K5 se skládá ze dvou zásobníků rozdělených do pěti sekcí. Z pěti sekcí zásobníku palivo padá pěti rovinnými uzávěry do dvou vyhrnovacích redlerů, které dopravují palivo do podávacího redleru, jímž bylo palivo dopraveno do násypky pneumatického pohazovače kotle K5. Ve spodní části dna zásobníku je realizována do výšky cca 1600mm tzv. klidová zóna, ve které dochází k vynášení materiálu ze zásobníku. V horní části klidové zóny jsou instalována stavěcí hradítka, která plní funkci regulace a zajistí odtržení materiálu od skladovaného celku a tím jeho plynulé a bezproblémové vynášení. Pro zajištění vhodných podmínek pro vynášení materiálu ze zásobníku a jeho dopravu je nutné, aby velikost dopravované frakce byla do 50 mm střední velikosti zrna.

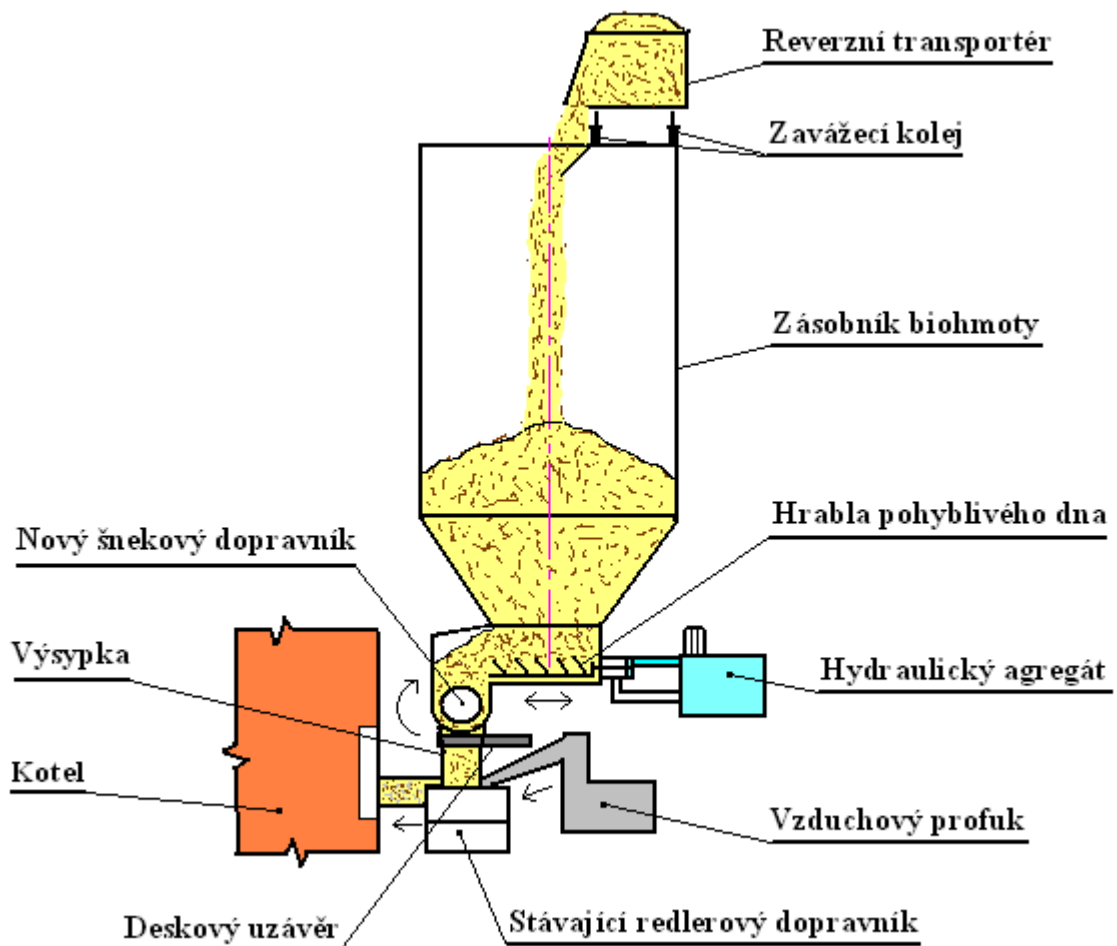
Při provozu jsou otevřeny uzávěry zásobníků v závislosti na spalovaném palivu, nebo směsi paliva. Doprava paliva ze zásobníků č. 5 byla do současnosti řešena pomocí levého a pravého vyhrnovacího redlerového podavače. Z nich bylo palivo vyhrnováno do podávacího redleru, odkud bylo dopravováno do násypky pneumatického pohazovače kotle K5.

V případě poruchy na podávacím redleru je přerušena dodávka paliva do kotle - dojde k odstavení kotle K5.

Jednotlivé výpustné otvory zásobníku kotle K 5 jsou opatřeny rovinnými uzávěry, které jsou elektricky ovládány z místních ovládacích skříněk a z PC řídicího systému.

## 4.2. Analýza řešení

Materiál bude vynášen ze zásobníku plynule, přičemž otvor výpustného otvoru zásobníku je obdélníkového průřezu o rozměrech 4x2 m. Na vynášecí zařízení bude muset navazovat další dopravní prvek, který dopraví materiál ke kotli do násypky pneumatického pohazovače. Navržené zařízení bude muset dopravit materiál na vzdálenost 6 m. Jeden z hlavních požadavků je splnit dopravní množství 1,8t/hod.



Obr. 21: Schéma materiálového toku znázorněn jednou z variant

### 4.3. Varianty řešení

**Varianta 1 a 2** (obr. 22,23) je řešení pomocí redlerových dopravníků, které zajišťují vynášení i dopravu k pneumatickému pohazovači kotle.

**Varianta 3** (obr. 24) řeší vynášení materiálu ze zásobníku jedním šnekovým dopravníkem, který má na jedné hřídeli dvě šnekovnice o jiných průměrech. Část s menším průměrem šnekovnice plní funkci vynášení a část s větším průměrem šnekovnice plní funkci dopravy biohmoty. Výhoda spočívá v nakypření a provzdušnění biohmoty.

**Varianta 4** (obr. 25) řeší vynášení ze dna zásobníku pomocí víceřadého šnekového odebírače, který je také nazýván “ pohyblivým dnem“. Následná doprava biohmoty je řešena žlabovým šnekovým dopravníkem.

**Varianta 5,6,7 a 8** (obr. 26,27,28,,29,23) řeší vynášení biohmoty ze zásobníku pomocí posuvného harpunového dna. Posuvné dno vykonává pouze translační vratný pohyb a tudíž musí na něj navazovat další dopravní prvek. Navazující dopravu biohmoty řeší každá varianta jinak.

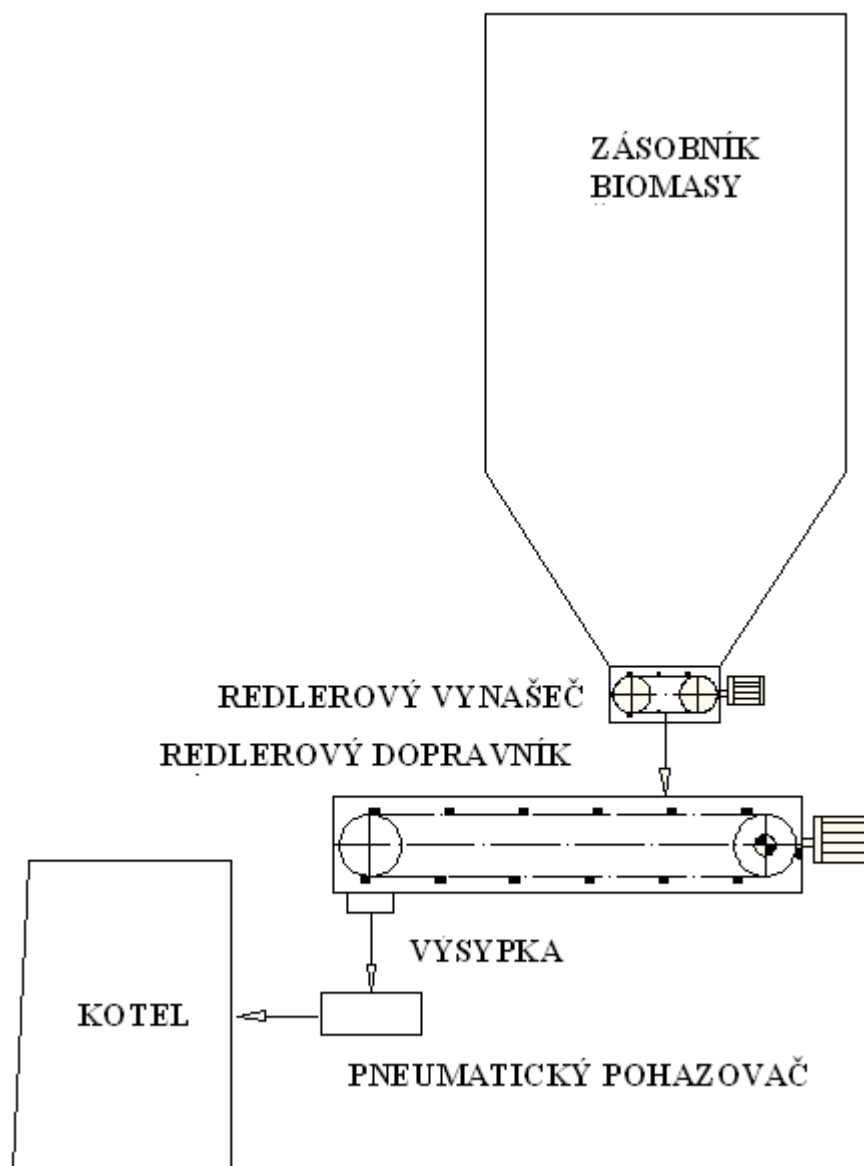
**Varianta 5** (obr. 26) řeší navazující dopravu pomocí redlerového dopravníku.

**Varianta 6**(obr. 27) řeší dopravu jednořadým šnekovým dopravníkem.

**Varianta 7** (obr. 28) řeší dopravu kónickým šnekovým dopravníkem. Výhody kónického šnekového dopravníku jsou zejména v plynulém odebírání problematického materiálu díky široké odebírací ploše.

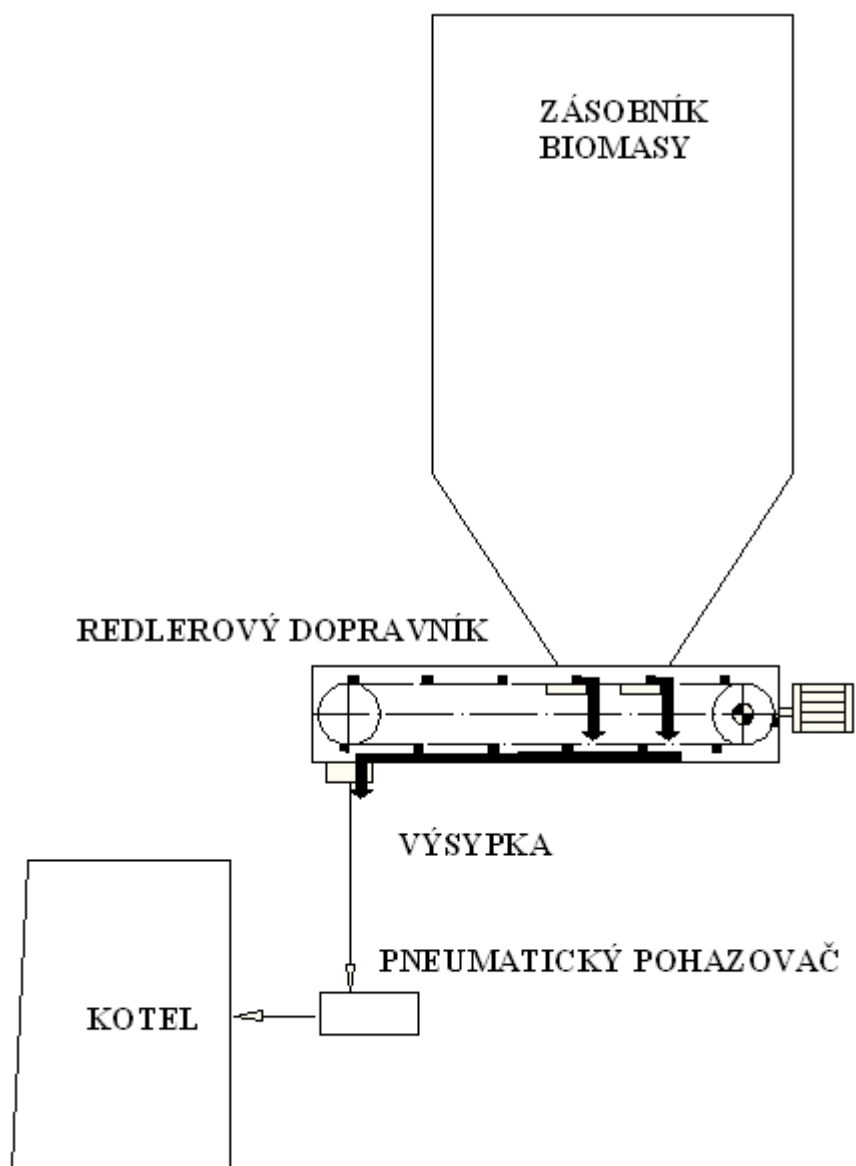
**Varianta 8** (obr. 29) řeší dopravu spirálním šnekovým dopravníkem. Výhody spirálního šnekového dopravníku jsou vysoká účinnost a doprava těžkých materiálů. Konstrukce je složena z minimálního počtu součástí.

## Varianta 1 vynášení pomocí redlerů



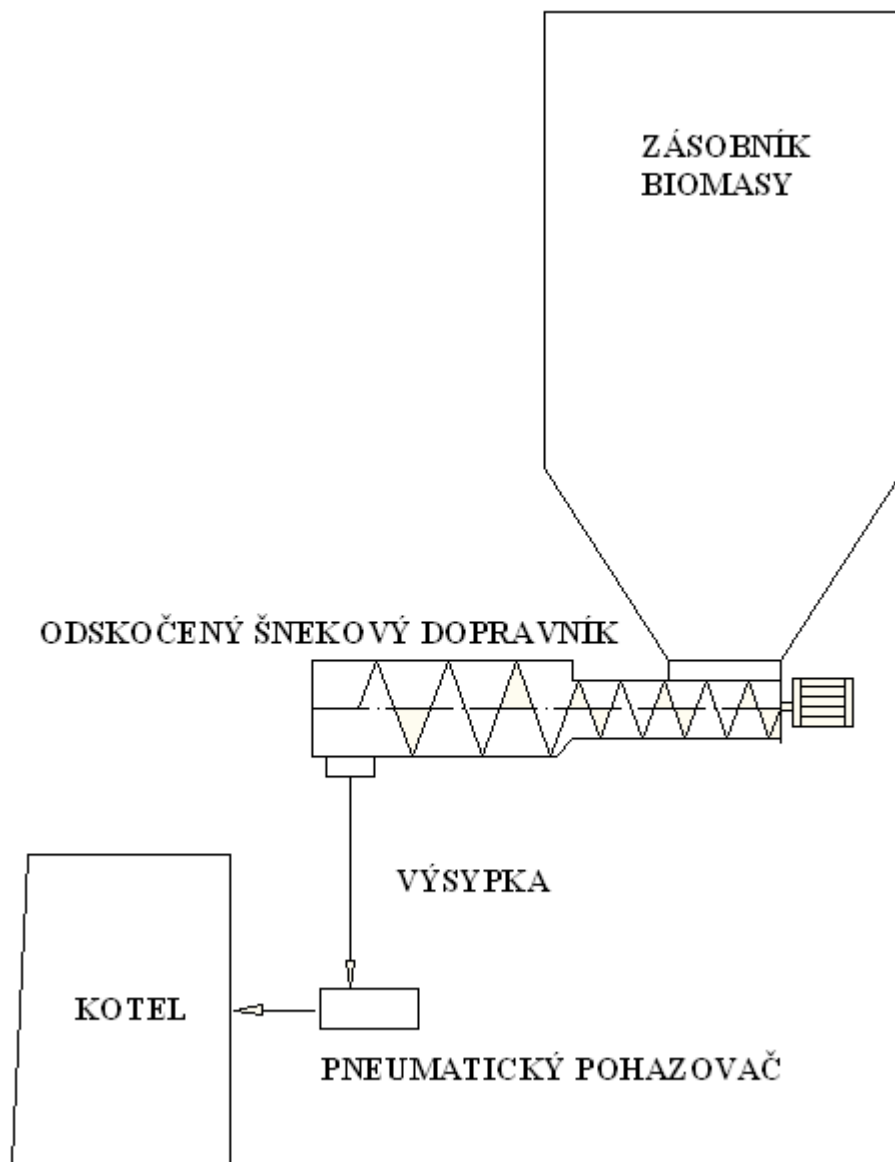
Obr. 22: Varianta 1 - Vynášení redlerovým vynašečem a doprava redlerovým dopravníkem

## Varianta 2 redlerový dopravník



Obr. 23: Varianta 2 - Vynášení redlerovým dopravníkem

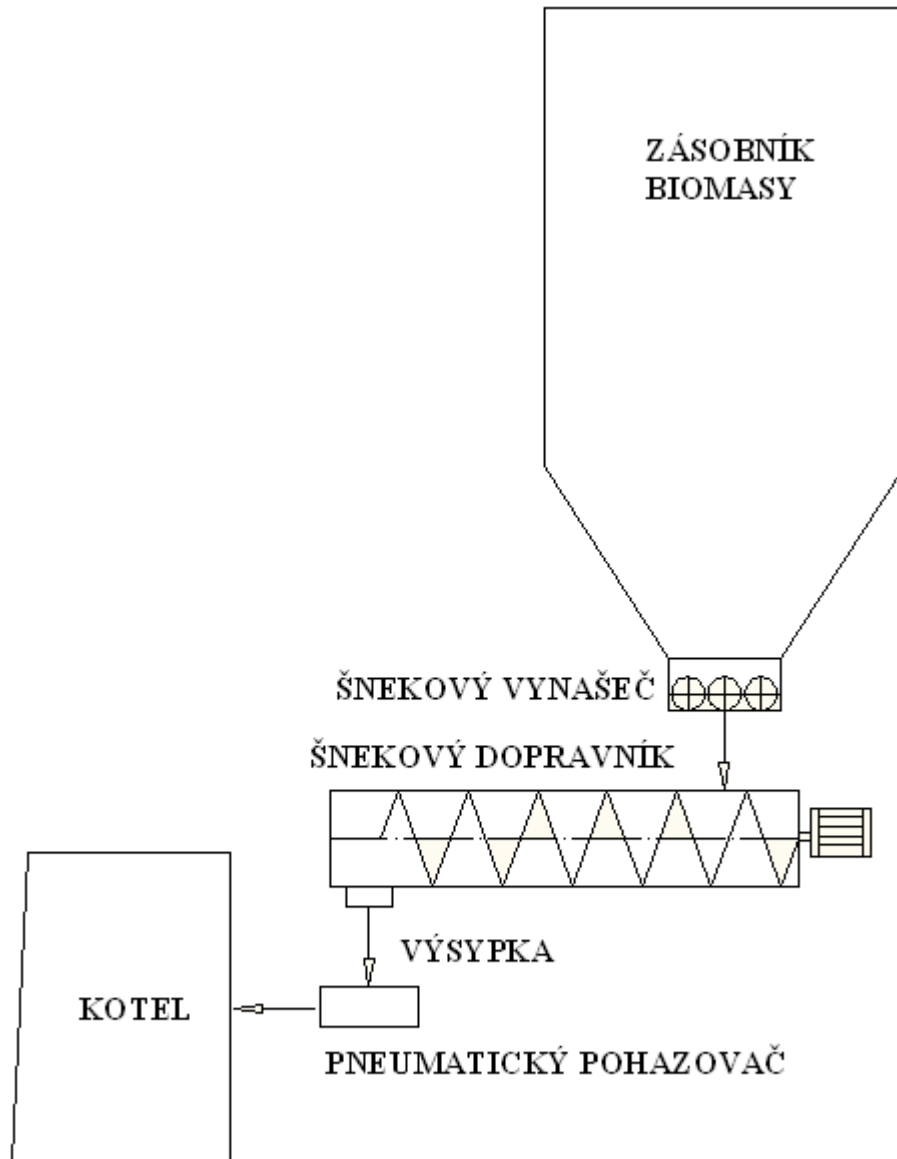
### Varianta 3 odskočený šnekový dopravník



Obr. 24: Varianta 3 – Vynášení jedním šnekovým dopravníkem se dvěma šnekovnicema s různým průměrem šnekovnicí.

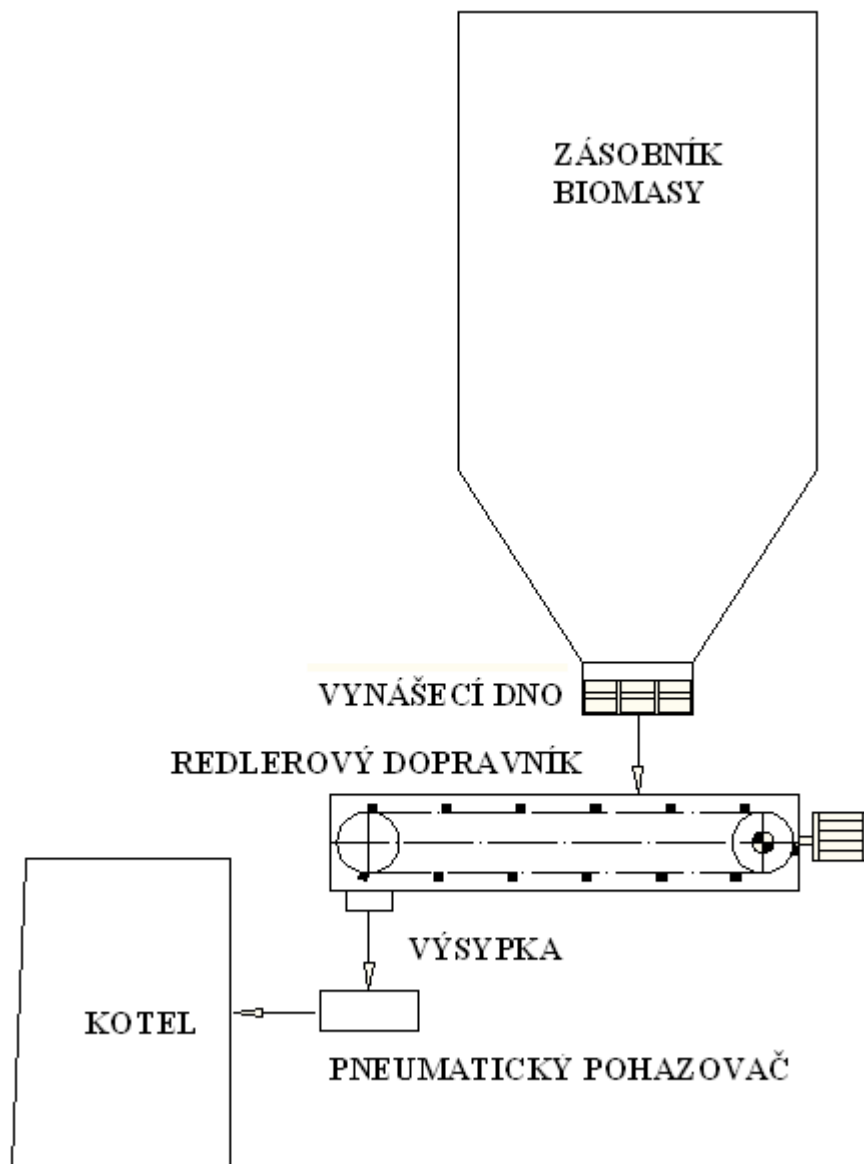


## Varianta 4 šnekový vynašeč a šnekový dopravník



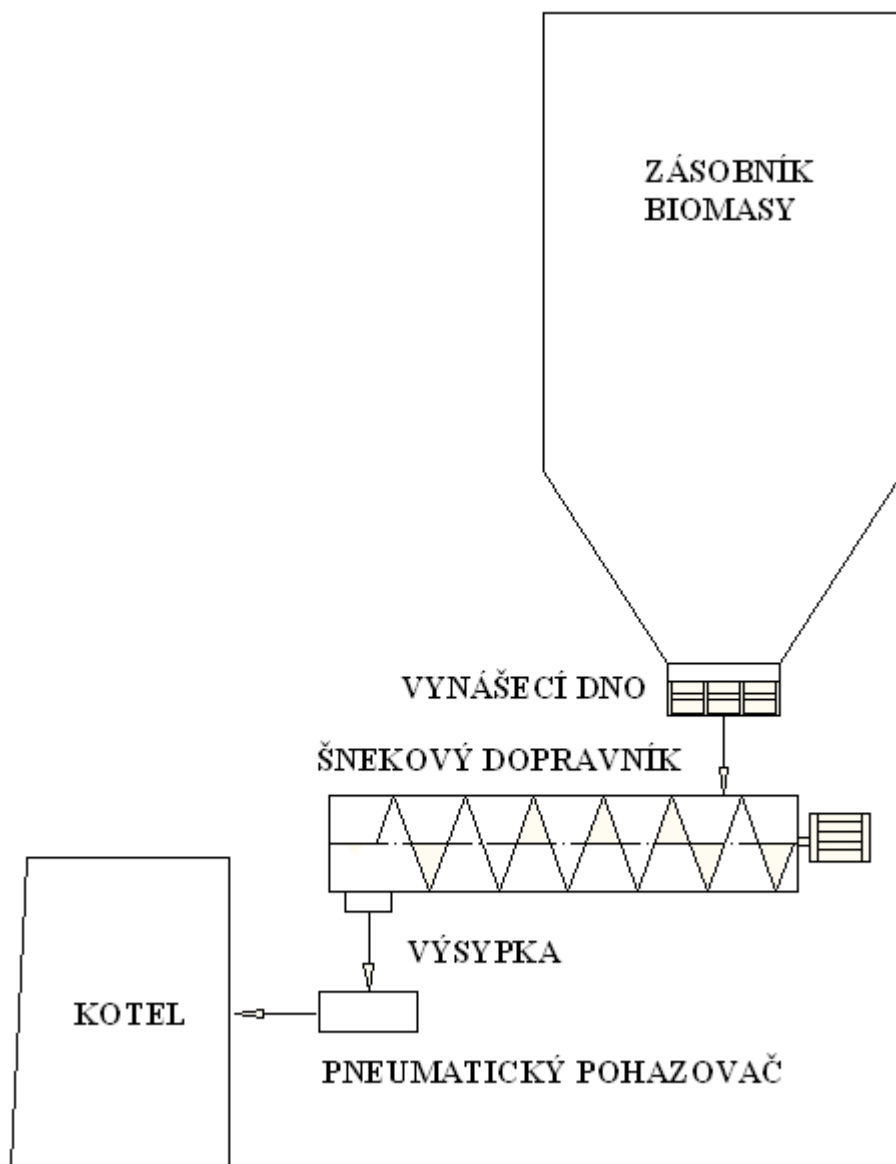
Obr. 25: Varianta 4 – Vynášení víceřadým šnekovým vynašečem a doprava šnekovým dopravníkem

## Varianta 5 vynášecí dno a redlerovým dopravníkem



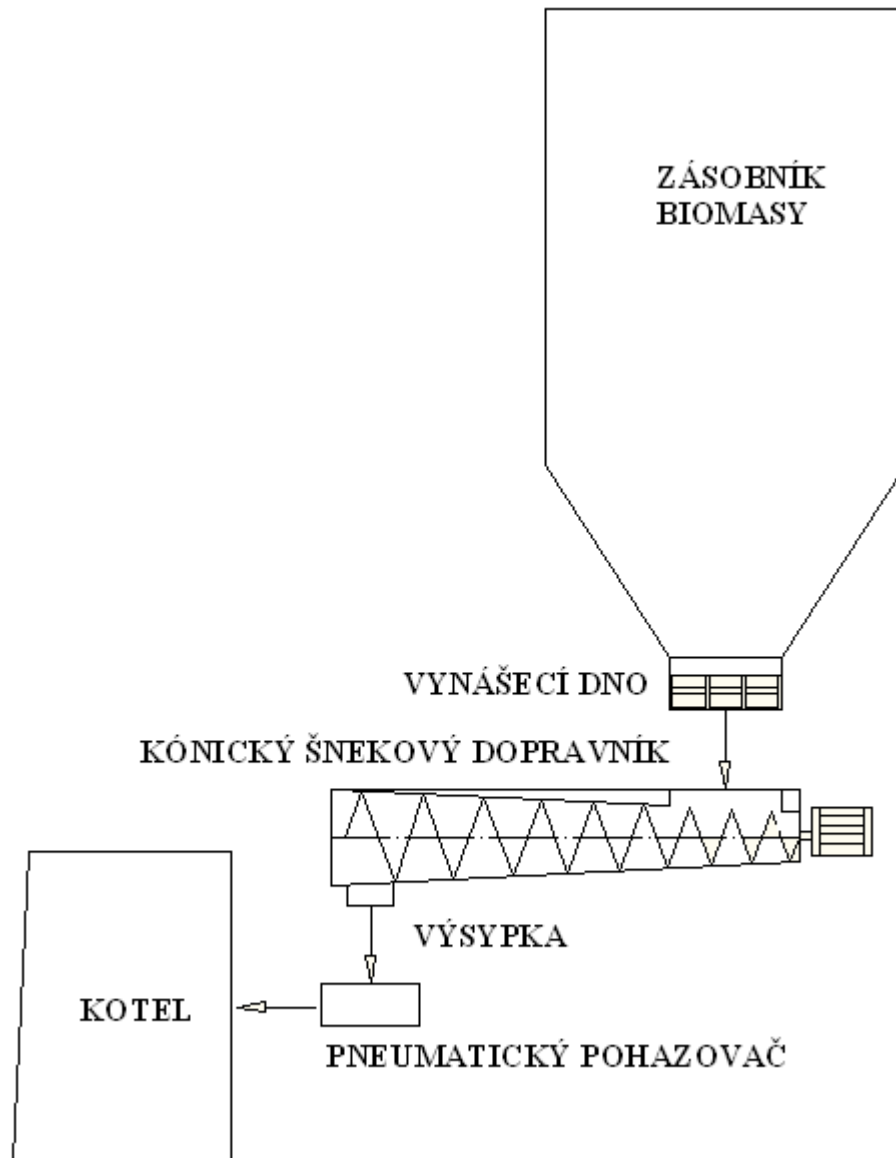
Obr. 26: Varianta 5 – Vynášení pohyblivým dnem a doprava pomocí redlerového dopravníku

## Varianta 6 vynášecí dno a šnekový dopravník



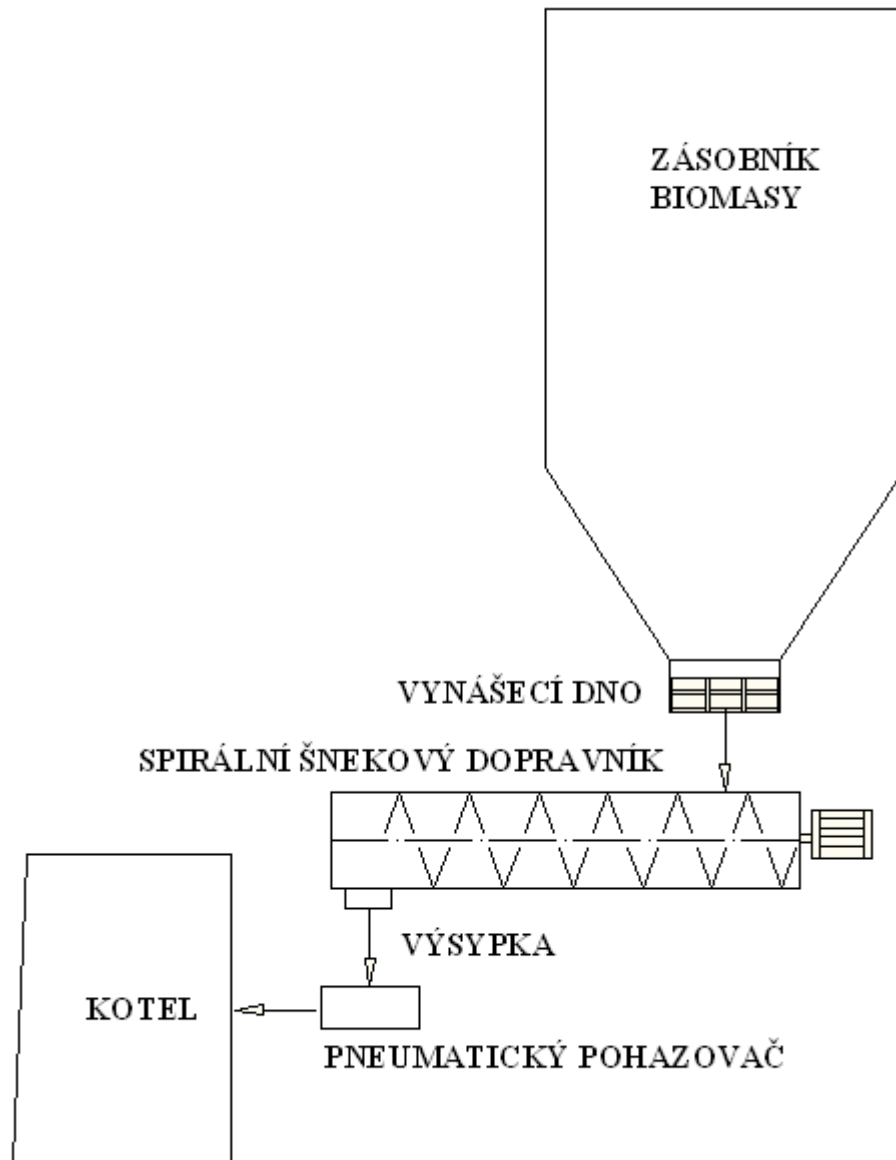
Obr. 27: Varianta 6 – Vynášení pohyblivým dnem a doprava šnekovým dopravníkem

## Varianta 7 vynášecí dno a kónický šnekový dopravník



Obr. 28: Varianta 7 – Vynášení pohyblivým dnem a doprava kónickým šnekovým dopravníkem

## Varianta 8 vynášecí dno a spirální šnekový dopravník



Obr. 29: Varianta 8 – Vynášení pohyblivým dnem a doprava spirálním šnekovým dopravníkem

#### 4.4. Výběr varianty řešení

Požadavek	Varianty							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Úprava stávajícího stavu	3	3	2	2	4	4	4	4
Kontinuální provoz	3	4	4	4	3	3	3	3
Náročnost na údržbu	3	3	4	4	3	4	4	4
Náročnost na obsluhu	3	3	3	3	3	3	3	3
Nároky na prostor	2	4	4	3	3	4	4	4
Provozní náklady	3	3	4	3	3	4	4	4
Požizovací cena	2	3	3	2	3	4	3	2
<b><math>\Sigma</math> Hodnocení</b>	<b>19</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>26</b>	<b>25</b>	<b>24</b>

Legenda :

Nevyhovuje požadavku - min. 1 b.

Vyhovuje požadavku - max. 5 b.

Dle hodnocení se jeví jako nejlepší varianta č. 6. Z tabulky lze vyčíst, že pořizovací cena byla jednou z výhod varianty, a také nejlépe řeší stávající stav.

Varianta 6 řeší vynášení ze zásobníku vynášecím dnem, které zasypává navazující šnekový dopravník, a ten dopravuje materiál směrem ke kotli.

## 5. Návrh a výpočet zvolené varianty č. 6

### 5.1. Návrh vynášecího dna

#### 5.1.1. Dopravní množství jedním hrablem

Volím počet sekcí s hrably  $i_s=3$ .

$$Q_1 = \frac{Q_h}{i_s} \quad (5.1)$$

$$Q_1 = \frac{1,9}{3} = 0,63$$

$$Q_1 = 0,63 \quad [t \cdot \text{hod}^{-1}]$$

$$Q_1 = 10,5 \quad [kg \cdot \text{min}^{-1}]$$

Doprovávané množství vynášecím dnem z důvodu návaznosti dalšího dopravního prvku navyšuji o 5%  $Q_h=1,9$  [t/hod]

#### Objem vnesený krajním hrablem

Předpokládám-li dobu jednoho cyklu 1 minutu, musí se za tuto dobu dopravit jedním hrablem 10,5 kg biohmoty.

$$m_1 = V_1 \cdot \rho_s \quad (5.2)$$

$$V_1 = \frac{m_1}{\rho_s}$$

$$V_1 = \frac{10,5}{458} = 0,023 \quad [m^3]$$

### Průřez vynášený krajním hřablem

Šířku hřable volím  $b_h = 1,26$  m

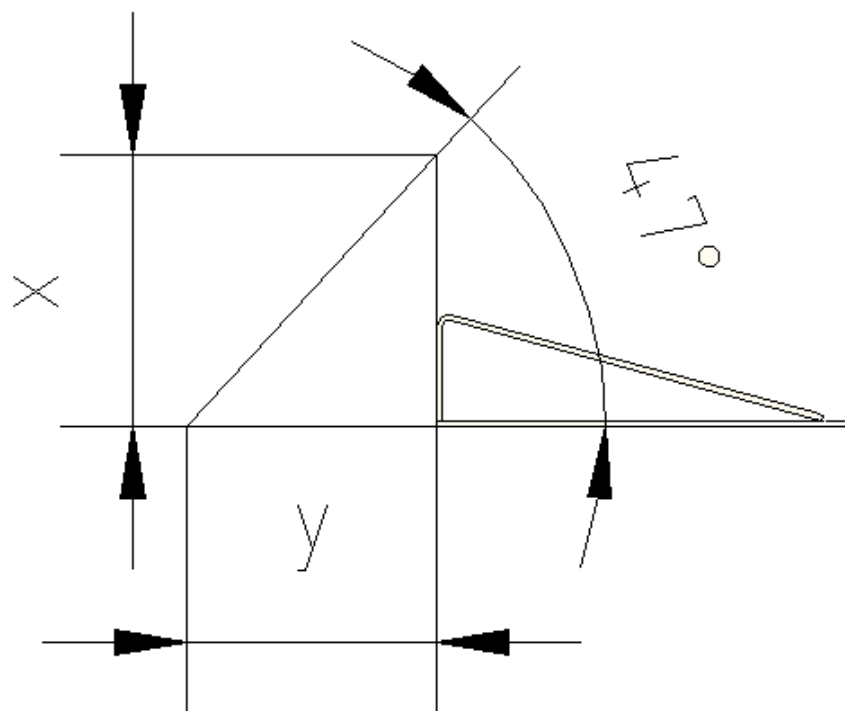
Výšku hřable volím  $v_h = 0,08$  m

$$S_1 = \frac{V_1}{b_s} \quad (5.3)$$

$$S_1 = \frac{0,023}{1,26} = 0,018 \quad [m^2]$$

### Délka zasypání před krajním hřablem

Známe-li sypný úhel viz. příloha 1, můžeme spočítat rozměry trojúhelníku zasypaného před hřablem.



Obr. 30: Schéma trojúhelníku zasypaného před krajním hřablem



Vycházím z rovnic:

$$\operatorname{tg}\Psi_s = \frac{x}{y} \quad [-] \quad (5.4)$$

$$S_1 = \frac{x \cdot y}{2} \quad [m^2] \quad (5.5)$$

Z první rovnice si vyjádřím x a dosadím do druhé rovnice.

$$x = \operatorname{tg}\Psi_s \cdot y$$

$$S_1 = \frac{\operatorname{tg}\Psi_s \cdot y^2}{2}$$

Hodnotu y zpátky dosadím do první rovnice.

$$y = \sqrt{\frac{2 \cdot S_1}{\operatorname{tg}\Psi_s}} \quad (5.6)$$

$$y = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,018}{\operatorname{tg}47^\circ}}$$

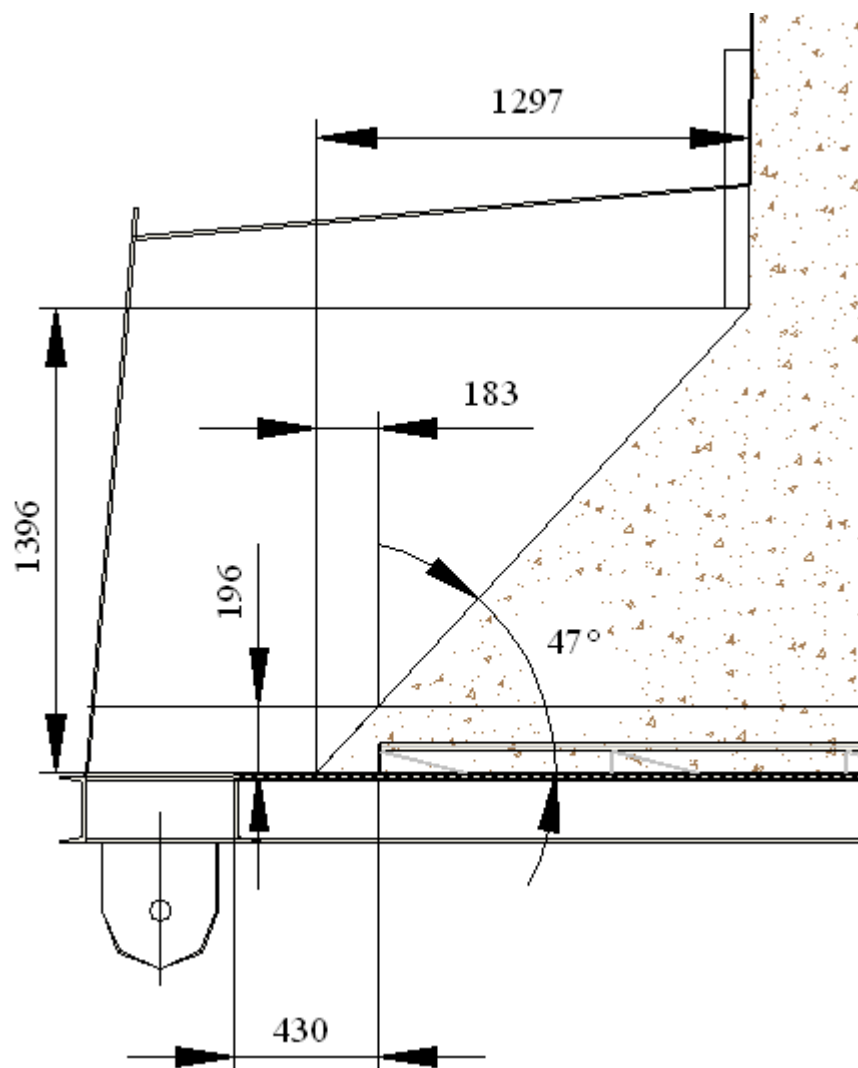
$$y = 0,183 \quad [m]$$

Po dosazení do první rovnice vypočtu hodnotu x:

$$x = \operatorname{tg}47^\circ \cdot 0,183$$

$$x = 0,196 \quad [m]$$

Pro délku zasypání 183 mm je při sypném úhlu 47° potřeba snížit regulační hradítka do výšky 1396 mm od podlahy zásobníku (obr. 31).



Obr. 31: Schéma vynášeného objemu hrablem

## 5.1.2. Výpočet Jansenovy síly

### Hydraulický poloměr

$$R = \frac{S}{O} = \frac{l_z \cdot b_z}{2 \cdot (l_z + b_z)} \quad [1](5.7)$$

$$R = \frac{2,02 \cdot 4}{2 \cdot (2,02 + 4)} = 0.5$$

$$R = 0.5 \quad [m]$$

### Sypná tíha

$$\gamma_s = \rho_s \cdot g \quad [1](5.8)$$

$$\gamma_s = 458 \cdot 9,81$$

$$\gamma_s = 4493 \quad [N \cdot m^{-3}]$$

$\rho_s$  – sypná hmotnost viz. příloha 1:  $\rho_s = 458 \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}]$

### Koeficient sypnosti

$$k = \left( \frac{1 - \sin \varphi_e}{1 + \sin \varphi_e} \right) \quad [1](5.9)$$

$$k = \left( \frac{1 - \sin 43,66}{1 + \sin 43,66} \right)$$

$$k = 0,18 \quad [-]$$

$\varphi_e$  – efektivní úhel vnitřního tření materiálu viz. příloha 1:  $\varphi_e = 43,66 \text{ [deg]}$

## Jansenovo napětí

$$\sigma'_2 = \frac{\gamma_s \cdot R}{f_w} \cdot \left( 1 - e^{\frac{-k \cdot f_w \cdot h_z}{R}} \right) \quad [Pa] \quad [1](5.10)$$

$$\sigma'_1 = \frac{\gamma_s \cdot R}{k \cdot f_w} \cdot \left( 1 - e^{\frac{-k \cdot f_w \cdot h_z}{R}} \right) \quad [Pa] \quad [1](5.11)$$

$h_z$  - výška zásobníku  $h_z = 8,8$  [m]

$f_w$  - součinitel vnějšího tření viz. příloha 1  $f_w = 0,34$  [-]

$$\sigma'_2 = \frac{4493 \cdot 0,5}{0,34} \cdot \left( 1 - e^{\frac{-0,18 \cdot 0,34 \cdot 8,8}{0,5}} \right)$$

$$\sigma'_1 = \frac{4493 \cdot 0,5}{0,18 \cdot 0,34} \cdot \left( 1 - e^{\frac{-0,18 \cdot 0,34 \cdot 8,8}{0,5}} \right)$$

$$\sigma'_2 = 4357 \quad [Pa]$$

$$\sigma'_1 = 24205 \quad [Pa]$$

## Napětí působící na jednu sekci hrabel

$$\sigma'_{21} = \frac{\sigma'_2}{3} = \frac{4357}{3} \quad (5.12)$$
$$\sigma'_{21} = 1452 \quad [Pa]$$

$$\sigma'_{11} = \frac{\sigma'_1}{3} = \frac{24205}{3} \quad (5.13)$$
$$\sigma'_{11} = 8068 \quad [Pa]$$

### Hmotnost jedné sekce hrabel

V jedné sekci navrhuji 5 hrabel.

$$\begin{aligned}m_s &= 2 \cdot m_k + m_t + 10 \cdot m_h & (5.14) \\m_s &= 2 \cdot 11 + 44 + 10 \cdot 10,7 \\m_s &= 173 \quad [kg]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m_k &= m_{1m} \cdot l_k & (5.15) \\m_k &= 3,64 \cdot 3 \\m_k &= 11 \quad [kg]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m_t &= m_{1m} \cdot l_t & (5.16) \\m_t &= 13,4 \cdot 3,3 \\m_t &= 44 \quad [kg]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m_h &= V \cdot \rho = O_h \cdot t \cdot b_h \cdot \rho & (5.17) \\m_h &= 0,64 \cdot 0,004 \cdot 0,53 \cdot 7850 \\m_h &= 10,7 \quad [kg]\end{aligned}$$

### Síla vyvolaná hmotností jedné sekce hrabel

$$\begin{aligned}F_{h1} &= m_s \cdot g & (5.18) \\F_{h1} &= 173 \cdot 9,81 \\F_{h1} &= 1697 \quad [N]\end{aligned}$$

### Síla vyvolaná hmotností materiálu působící na jednu sekci hrabel

$$\begin{aligned}F_{m1} &= F_{r1} + F_{11} & (5.19) \\F_{m1} &= 5332 + 21730 \\F_{m1} &= 27062 \quad [N]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{r1} &= V_m \cdot \gamma_s & (5.20) \\
 F_{r1} &= 1,187 \cdot 4493 \\
 F_{r1} &= 5332 \quad [N]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{11} &= \sigma'_{11} \cdot S_{11} & (5.21) \\
 F_{11} &= 8068 \cdot 2,02 \cdot \frac{4}{3} \\
 F_{11} &= 21730 \quad [N]
 \end{aligned}$$

$F_{r1}$ - síla vyvolaná hmotností materiálu rozsypaného směrem k výsypce viz. (Obr. 31)

$F_{11}$ - Jansenova síla působící na jednu sekci hrabel

$F_{h1}$ - síla vyvolaná hmotností samotné sekce hrabel

#### **Výpočet celkové síly působící na dno pod jednou sekci**

$$\begin{aligned}
 F_{N1} &= F_{m1} + F_{h1} & (5.22) \\
 F_{N1} &= 27062 + 1697 \\
 F_{N1} &= 28759 \quad [N]
 \end{aligned}$$

### **5.1.3. Odpory působící proti pohybu vynášení**

Z důvodu snížení odporů třením navrhuji pokrýt celé dno a stěny zásobníku do výšky 300 [mm] nerezovým plechem. Součinitel vnějšího tření materiálu o nerezový plech viz. příloha 1.  $f_w=0,27$

### Počáteční soudržné napětí

$$\begin{aligned}\tau_0 &= \left( \frac{\gamma_s \cdot h_o}{2} \right) \cdot \left( \frac{1 - \sin \varphi_e}{\cos \varphi_e} \right) & [1] \quad (5.23) \\ \tau_0 &= \left( \frac{4493 \cdot 0,5}{2} \right) \cdot \left( \frac{1 - \sin 43,66}{\cos 43,66} \right) \\ \tau_0 &= 481 \quad [Pa]\end{aligned}$$

$\varphi_e$  – úhel vnitřního tření viz. příloha 1:  $\varphi_e = 43,66$  [deg]

$h_o$  - charakteristická výška  $h_o = 0,5$  [m]

### Odpor vyvolaný třením materiálu o dno

$$\begin{aligned}K_1 &= F_{m1} \cdot f_w & [3] \quad (5.24) \\ K_1 &= 27062 \cdot 0,27 \\ K_1 &= 7307 \quad [N]\end{aligned}$$

### Odpor vyvolaný třením sekce hrabel o dno

$$\begin{aligned}K_2 &= F_{N1} \cdot f_o & [3] \quad (5.25) \\ K_2 &= 28759 \cdot 0,15 \\ K_2 &= 4314 \quad [N]\end{aligned}$$

$f_o$  - součinitel tření ocel – nerezavějící ocel  $f_o = 0,15$

### Odpor z trhání materiálu

$$\begin{aligned}K_3 &= F_{m1} \cdot f_e + \tau_0 \cdot S_s & [3] \quad (5.26) \\ K_3 &= 27062 \cdot 0,95 + 481 \cdot 3,53 \\ K_3 &= 27407 \quad [N]\end{aligned}$$

$S_s$ - plocha jedné sekce

$$\begin{aligned} S_s &= l_s \cdot b_s & (5.27) \\ S_s &= 2,8 \cdot 1,26 \\ S_s &= 3,53 \quad [m^2] \end{aligned}$$

**Odpor z tření materiálu o boční vedení zásobníku**

$$\begin{aligned} K_4' &= 2 \cdot F_t & (5.28) \\ K_4' &= 2 \cdot 645 \\ K_4' &= 1290 \quad [N] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_t &= F_2 \cdot f_w & [3] (5.29) \\ F_t &= 2390 \cdot 0,27 \\ F_t &= 645 \quad [N] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_2 &= \sigma_2' \cdot l_s \cdot x & (5.30) \\ F_2 &= 4357 \cdot 2,8 \cdot 0,196 \\ F_2 &= 2390 \quad [N] \end{aligned}$$

Sílu působící na stěnu zásobníku vyvolanou hmotností rozsypaného množství neberu v úvahu, vzhledem k její zanedbatelné velikosti vůči Jansenové síle na stěnu zásobníku.

$F_t$ - třecí síla o stěnu zásobníku [N]

$F_2$ - Jansenova síla na stěnu zásobníku [N]

$x$ - výška vynášeného objemu materiálu [m]

Vynášecí dno se skládá ze 3 sekcí hrabel a pro zjednodušení výpočtu je odpor z tření o boky zásobníku rozdělen rovnoměrně do všech 3sekcí.

$$\begin{aligned} K_4 &= \frac{K_4'}{i_s} & (5.31) \\ K_4 &= \frac{1290}{3} \\ K_4 &= 430 \quad [N] \end{aligned}$$



#### 5.1.4. Síla potřebná k posunutí sekce vpřed

$$F_p = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 \quad (5.32)$$

$$F_p = 7307 + 4314 + 27407 + 430$$

$$F_p = 39458 \text{ [N]}$$

#### 5.1.5. Odpor působící proti pohybu zpět

Odpor proti pohybu zpět na šikmé ploše

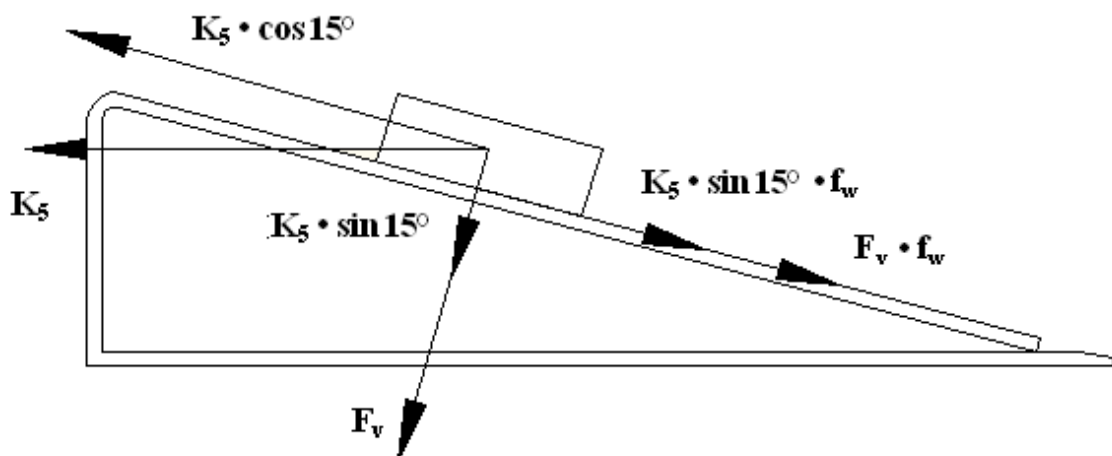
$$\Sigma F = 0$$

$$K_5 \cdot \cos 15^\circ - K_5 \cdot \sin 15^\circ \cdot f_w - F_v \cdot f_w = 0 \quad (5.33)$$

$$K_5 = \frac{F_v \cdot f_w}{\cos 15^\circ - \sin 15^\circ \cdot f_w}$$

$$K_5 = \frac{31412 \cdot 0,34}{\cos 15^\circ - \sin 15^\circ \cdot 0,34}$$

$$K_5 = 12165 \text{ [N]}$$



Obr. 32: Schéma rozložení sil působících na hrablo

Síla působící na hrablo pod výpustí zásobníku

$$F_{21} = \sigma'_{21} \cdot b_h \cdot v_h \quad (5.34)$$

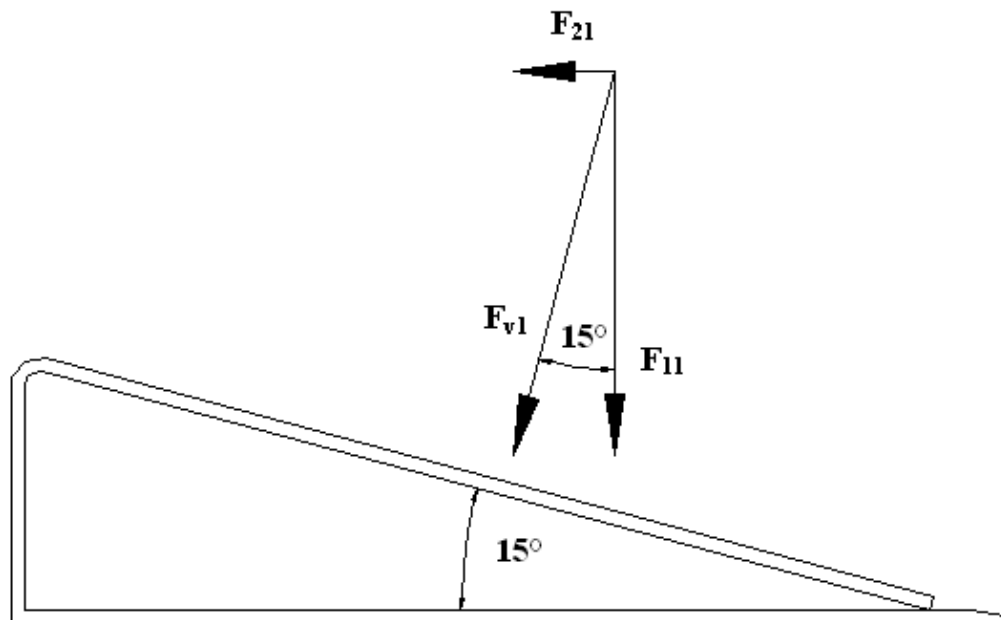
$$F_{21} = 1452 \cdot 1,26 \cdot 0,08$$

$$F_{21} = 146 \quad [N]$$

$$F_{v1} = F_{11} \cdot \cos 15^\circ + F_{21} \cdot \sin 15^\circ \quad (5.35)$$

$$F_{v1} = 21730 \cdot \cos 15^\circ + 146 \cdot \sin 15^\circ$$

$$F_{v1} = 21027 \quad [N]$$



Obr. 33: Schéma silového rozložení

Síla působící na hrablo v místě zasypaní

$$F_{v2} = F_{r1} \cdot \cos 15^\circ \quad (5.36)$$

$$F_{v2} = 5332 \cdot \cos 15^\circ$$

$$F_{v2} = 5150 \quad [N]$$

Celková síla působící na hrabla

$$\begin{aligned}F_v &= F_{v1} + F_{v2} \\F_v &= 21027 + 5150 \\F_v &= 26177 \quad [N]\end{aligned}\tag{5.37}$$

Vlivem zasouvání hrabel zpět pod materiál bude docházet ke kompresi materiálu pod zásobníkem, z toho důvodu jsem po dohodě s vedoucím diplomové práce sílu potřebnou k zasunutí hrabel navýšil o 20%.

$$\begin{aligned}F_v &= 26177 \cdot 1,2 \\F_v &= 31412 \quad [N]\end{aligned}$$

#### 5.1.6. Síla potřebná k posunutí sekce zpět

$$\begin{aligned}F_z &= K_5 + K_2 \\F_z &= 12165 + 4314 \\F_z &= 16479 \quad [N]\end{aligned}\tag{5.38}$$

#### 5.1.7. Návrh přímočarého motoru

##### Průměr pístu motoru

Pro návrh motoru budu počítat s hodnotou síly potřebné k vynesení materiálu, která je vyšší než síla potřebná k zasunutí sekce hrabel zpět.

$$\begin{aligned}D_p &= \sqrt{\frac{k \cdot 4 \cdot F_p}{\pi \cdot p_p}} \\D_p &= \sqrt{\frac{1,3 \cdot 4 \cdot 39458}{\pi \cdot 16 \cdot 10^6}} \\D_p &= 0,064 \quad [m]\end{aligned}\tag{7](5.39)$$

k- součinitel třecích odporů těsnění pístu  $k=(1,2-1,4)$

$p_p$ - pracovní tlak motoru  $p_p=16$  MPa

Dle katalogu firmy AMP - Hydraulika s.r.o volím typ přímočarého hydromotor PH-1-AMP s průměr pístu  $D_p=80$  mm a průměrem tyče  $d_p=40$  mm. Maximální zdvih  $H=500$  mm.

### Potřebný průtok

Z důvodu periodicky pracujícího přímočarého motoru musím spočítat potřebný průtok kapaliny.

Směrem dopředu:

$$Q_p = V_v \cdot n = \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \cdot H \cdot n_z \quad [7] \quad (5.40)$$

$$Q_p = \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} \cdot 0,43 \cdot 1$$

$$Q_p = 2,16 \cdot 10^{-3} \quad [m^3 \cdot \text{min}^{-1}]$$

n- počet zdvihů za minutu

Směrem zpátky:

$$Q_z = V_v \cdot n = \frac{\pi \cdot (D_p^2 - d_p^2)}{4} \cdot H \cdot n_z \quad [7] \quad (5.41)$$

$$Q_z = \frac{\pi \cdot (0,08^2 - 0,04^2)}{4} \cdot 0,43 \cdot 1$$

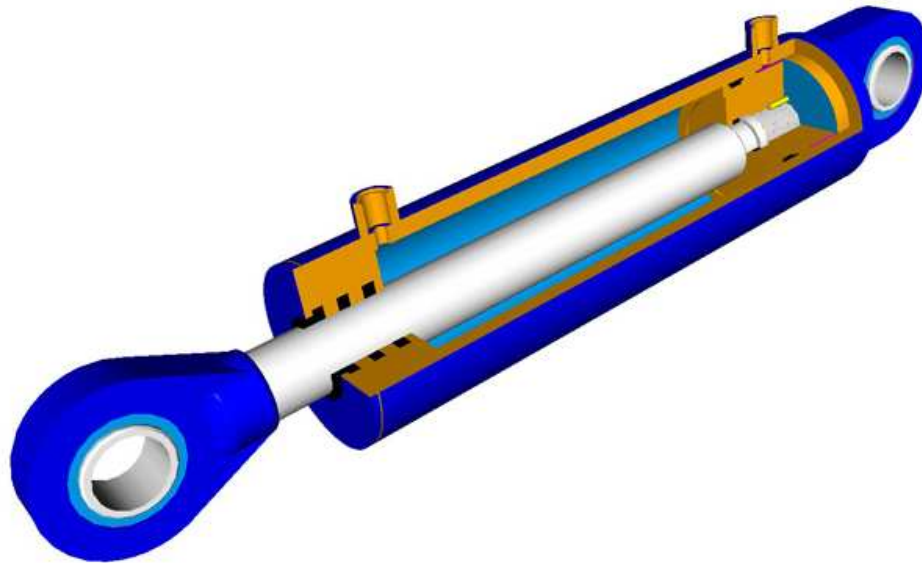
$$Q_z = 1,62 \cdot 10^{-3} \quad [m^3 \cdot \text{min}^{-1}]$$

Celkový průtok

$$Q_c = Q_p + Q_z \quad [7] \quad (5.42)$$

$$Q = 2,16 \cdot 10^{-3} + 1,62 \cdot 10^{-3}$$

$$Q = 3,78 \cdot 10^{-3} \quad [m^3 \cdot \text{min}^{-1}]$$



Obr. 34: Přímočarý hydromotor fa AMP - Hydraulika s.r.o [12]

## 5.2. Návrh šnekového dopravníku

### 5.2.1. Průměr šnekovnice

Dopravní množství se vypočte dle vztahu:

$$Q = 3,6 \cdot \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} \cdot h \cdot n \cdot \rho_s \cdot k_\varphi \cdot \lambda \quad [t \cdot hod^{-1}] \quad [2] \quad (5.43)$$

kde:

Q – dopravované množství Q=1,8 [t/hod]

D<sub>s</sub>- průměr šnekovnice [m]

h – stoupání šneku [m]

$$h = 0,8 \cdot D_s \quad [m] \quad [2] \quad (5.44)$$

n – otáčky šneku

$$n = 0,35 \cdot \sqrt{\frac{1}{D_s}} \quad [s^{-1}] \quad [2] \quad (5.45)$$

ρ<sub>s</sub> – sypná hmotnost biohmoty - ρ<sub>s</sub>=458 [kg/m<sup>3</sup>]

$k_\phi$  – součinitel plnění šnekového dopravníku, volím  $k_\phi = 0,5$  [-]

$\lambda$  – součinitel sklonu  $\lambda = 1$  [-]

po dosazení a úpravě dostaneme průměr šnekovnice  $D_s$ :

$$D_s = \sqrt[5]{\left(\frac{4 \cdot 1,8}{3,6 \cdot \pi \cdot 0,8 \cdot 0,35 \cdot 458 \cdot 0,5 \cdot 1}\right)^2}$$

$$D_s = 0,158 \quad [m]$$

Z důvodu zrnitosti materiálu 50 mm volím dle ČSN ISO 1050 průměr šnekovnice  $D_s = 315$  mm

### 5.2.2. Otáčky šneku

Dosadím do vzorce (5.45)

$$n = 0,35 \cdot \sqrt{\frac{1}{0,315}}$$
$$n = 0,62 \quad [s^{-1}]$$

### 5.2.3. Dopravní rychlost

Z důvodu návaznosti šnekové dopravy na posuvné dno, které vynáší 30  $[kg \cdot min^{-1}]$  musí také šnek dopravit 30  $[kg \cdot min^{-1}]$ , aby bylo splněno dopravní množství 1,8  $[th^{-1}]$ . Jelikož mám množství materiálu 30  $[kg]$  rozprostřeno na délce 4  $[m]$  šnekového dopravníku, musí se materiál pohybovat rychlostí 4  $[m \cdot min^{-1}]$ .

$$v = \frac{4}{60} = 0,067 \quad [m \cdot s^{-1}]$$

#### 5.2.4. Stoupání šnekovnice

$$v = h \cdot n \quad [2] \quad (5.46)$$

$$h = \frac{v}{n}$$

$$h = \frac{0,067}{0,62}$$

$$h = 0,108 \quad [m]$$

#### 5.2.5. Součinitel plnění $k_\varphi$

$$Q = 3,6 \cdot \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} \cdot h \cdot n \cdot \rho_s \cdot k_\varphi \cdot \lambda \quad [t \cdot hod^{-1}] \quad [2] \quad (5.47)$$

Po upravení:

$$k_\varphi = \frac{Q}{3,6 \cdot \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} \cdot h \cdot n \cdot \rho_s \cdot \lambda}$$

$$k_\varphi = \frac{1,8}{3,6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,315^2}{4} \cdot 0,108 \cdot 0,62 \cdot 458 \cdot 1}$$

$$k_\varphi = 0,21 \quad [-]$$

#### 5.2.6. Odpory proti pohybu materiálu

Vzhledem k tomu, že šnekový dopravník má součinitel zaplnění  $k_\varphi = 0,21$  [-] a odpory proti pohybu budou pouze o šnekovnici, budu brát v potaz nejhorší možnou variantu, která může nastat a to tehdy, když bude šnekový dopravník plně zasypán. Budu řešit šnekový dopravník jako vynašeč ze zásobníku, kde výška materiálu nad výpustí bude maximálně  $h = 0,7$  [m].

## Výpočet hydraulického poloměru pro výpusť pohyblivého dna

Rozměry vstupního otvoru 430x4000 [mm] (A·B)

S-plocha výpustního otvoru [m<sup>2</sup>]

$$\begin{aligned}S_o &= A \cdot B & (5.48) \\S_o &= 0,43 \cdot 4 \\S_o &= 1,72 \quad [m^2]\end{aligned}$$

O- obvod výpustního otvoru [m]

$$\begin{aligned}O_o &= 2 \cdot (A + B) & (5.49) \\O_o &= 2 \cdot (0,43 + 4) \\O_o &= 8,86 \quad [m]\end{aligned}$$

R<sub>v</sub>- hydraulický poloměr výpustního otvoru [m]

$$\begin{aligned}R_v &= \frac{S_o}{O_o} & [1](5.50) \\R_v &= \frac{1,72}{8,86} \\R_v &= 0,194 \quad [m]\end{aligned}$$

## Výpočet Jansenovy síly ve výpusti

$$\begin{aligned}F_{1s} &= \frac{\gamma_s \cdot R_v \cdot S_o}{f_w \cdot k} \cdot \left( 1 - e^{\frac{-k \cdot f_w \cdot h}{R}} \right) & [1](5.51) \\F_{1s} &= \frac{4493 \cdot 0,194 \cdot 1,72}{0,34 \cdot 0,18} \left( 1 - e^{\frac{-0,18 \cdot 0,34 \cdot 0,7}{0,194}} \right) \\F_{1s} &= 4854 \quad [N]\end{aligned}$$



### Odpor způsobený trháním materiálu ve výpusti

$$\begin{aligned}K_{S1} &= F_{1s} \cdot f_e + \tau_0 \cdot S_o & [3](5.52) \\K_{S1} &= 4854 \cdot 0,95 + 481 \cdot 1,72 \\K_{S1} &= 5438 \quad [N]\end{aligned}$$

### Odpor způsobený třením materiálu po šnekovnici

$$\begin{aligned}K_{S2} &= \left[ F_{1s} + \left( \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} \right) \cdot \gamma_s \cdot L \right] \cdot w \quad [N] & [3](5.53) \\K_{S2} &= \left[ 4854 + \left( \frac{\pi \cdot 0,315^2}{4} \right) \cdot 4493 \cdot 6 \right] \cdot 3 \quad [N] \\K_{S2} &= 20865 \quad [N]\end{aligned}$$

L – délka dopravníku L=6 [m]

w- globální součinitel odporu volím dle [3] w=3 [-]

### Celkový odpor proti pohybu

$$\begin{aligned}K_C &= K_{S1} + K_{S2} & (5.54) \\K_C &= 5438 + 20865 \\K_C &= 26303 \quad [N]\end{aligned}$$

## 5.2.7. Návrh motoru

### Výkon na hřídeli motoru

$$\begin{aligned}P &= \frac{K_c \cdot v}{1000 \cdot \eta} & [3](5.55) \\P &= \frac{26303 \cdot 0,067}{1000 \cdot 0,9} \\P &= 1,96 \quad [kW]\end{aligned}$$

$\eta$ - mechanická účinnost [-]

dle [11] volím mechanickou účinnost  $\eta=0,9$

Volím elektromotor firmy Bonfiglioli M3 LA 4 230/400 – 50 IP55 CLF

$$P_M=2,2 \text{ [kW]}$$

$$n_M= 1410 \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

$$M_M= 14,9 \text{ [N}\cdot\text{m]}$$

### 5.2.8. Návrh převodovky

$$i = \frac{n_M}{60 \cdot n} \tag{5.56}$$

$$i = \frac{1410}{60 \cdot 0,62}$$

$$i = 37,9 \text{ [-]}$$

i-převodový poměr převodovky

Volím převodovku firmy Bonfiglioli W 110 L2 U 40 S3 B14

$$i_{skut}=40 \text{ [-]}$$

Celý pohon tvoří jeden celek.

### 5.2.9. Skutečné otáčky šneku

$$n_{skut} = \frac{n_M}{i_{skut}} \tag{3}(5.57)$$

$$n_{skut} = \frac{1410}{40 \cdot 60}$$

$$n_{skut} = 0,59 \text{ [s}^{-1}\text{]}$$

### 5.2.10. Změna stoupání šneku

Jelikož se mi změnila otáčky šneku musím změnit stoupání šneku, z důvodu dopravovaného množství a plynulé návaznosti na vynášecí dno.

$$v = h \cdot n_{skut} \quad [2](5.58)$$

$$h = \frac{v}{n_{skut}}$$

$$h = \frac{0,067}{0,59}$$

$$h = 0,113 \quad [m]$$

### 5.2.11. Kontrola šnekového dopravníku na rozběh

$$M_M = M_S + M_D \quad [N \cdot m] \quad [11](5.59)$$

**Moment statický**

$$M_S = \frac{K_c \cdot v}{1000 \cdot \eta \cdot \omega} = \frac{K_c \cdot v}{1000 \cdot \eta \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_{skut}} \quad [11](5.60)$$

$$M_S = \frac{26303 \cdot 0,067}{1000 \cdot 0,9 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,59}$$

$$M_S = 0,53 \quad [N \cdot m]$$

**Maximální možný dynamický moment**

$$M_D = M_M - M_S \quad [11](5.61)$$

$$M_D = 14,9 - 0,53$$

$$M_D = 14,37 \quad [N \cdot m]$$

## Moment setrvačnosti

Moment setrvačnosti pro prázdný šnekový dopravník

$$\begin{aligned}J_{\min} &= \sum \frac{1}{2} m \cdot r^2 && [11](5.62) \\J_{\min} &= \frac{1}{2} (m_s + m_h) \cdot r^2 \\J_{\min} &= \frac{1}{2} (127 + 106) \cdot \left( \frac{0,315}{2} \right)^2 \\J_{\min} &= 2,89 \quad [kg \cdot m^2]\end{aligned}$$

Moment setrvačnosti pro plně zasypaný šnekový dopravník

$$\begin{aligned}J_{\max} &= \sum \frac{1}{2} m \cdot r^2 && [11](5.63) \\J_{\max} &= \frac{1}{2} (m_s + m_h + m_q) \cdot r^2 \\J_{\max} &= \frac{1}{2} (127 + 106 + 215) \cdot \left( \frac{0,315}{2} \right)^2 \\J_{\max} &= 5,56 \quad [kg \cdot m^2]\end{aligned}$$

Hmotnost šnekovnice:

$$\begin{aligned}m_s &= n_s \cdot \frac{\pi(D_{po}^2 - d_{po}^2)}{4} \cdot t \cdot \rho_o && (5.64) \\m_s &= 53 \cdot \frac{\pi(0,319^2 - 0,07^2)}{4} \cdot 0,004 \cdot 7850 \\m_s &= 127 \quad [kg]\end{aligned}$$

Hmotnost hřídele:

Hřídel šneku bude vyroben z tlustostěnné trubky-

**TR Ø70x12,5 – ČSN 42 5715.01-11 523**

$$m_h = 106 \text{ kg}$$

Hmotnost materiálu:

$$m_q = \frac{\pi \cdot D_s^2}{4} \cdot L \cdot \rho_s \quad (5.65)$$

$$m_q = \frac{\pi \cdot 0,315^2}{4} \cdot 6 \cdot 458$$

$$m_q = 215 \text{ [kg]}$$

**Doba rozběhu**

$$M_D = J \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad [11](5.66)$$

$$M_D \cdot \int_0^{t_r} dt = J \cdot \int_0^{\omega} d\omega$$

$$M_D \cdot t_r = J \cdot \omega$$

$$t_r = \frac{J \cdot \omega}{M_D}$$

Dosadím za  $\omega$

$$\omega = \frac{2 \cdot v}{D_s} \text{ [s}^{-1}\text{]} \quad (5.67)$$

Po dosazení pak dostaneme vztah:

$$t_r = \frac{J \cdot 2 \cdot v}{M_D \cdot D_s} \text{ [s]} \quad [11](5.68)$$

**Maximální doba rozběhu**

$$t_{r \max} = \frac{J_{\max} \cdot 2 \cdot v}{M_D \cdot D_s} \quad [11](5.69)$$

$$t_{r \max} = \frac{5,56 \cdot 2 \cdot 0,067}{14,37 \cdot 0,315}$$

$$t_{r \max} = 0,16 \text{ [s]}$$

Minimalní doba rozběhu

$$t_{r\min} = \frac{J_{\min} \cdot 2 \cdot v}{M_D \cdot D} \quad [11](5.70)$$
$$t_{r\min} = \frac{2,89 \cdot 2 \cdot 0,067}{14,37 \cdot 0,315}$$
$$t_{r\min} = 0,09 \quad [s]$$

Šnekový dopravník se rozběhne do 1 [s] i při plném zasypání materiálem, což vyhovuje.

### 5.2.12. Krouťící moment na hřídeli šneku

$$M_K = \frac{P_M}{2 \cdot \pi \cdot n_{skut}} \quad [2](5.71)$$
$$M_K = \frac{2200}{2 \cdot \pi \cdot 0,59}$$
$$M_K = 593 \quad [N \cdot m]$$

### 5.2.13. Návrh průměru spojovacího hřídele

Dle strojírenských tabulek volím materiál 11500, Re=245-490 [MPa]

$$\tau_K = \frac{M_K}{W_K} \leq \tau_{DK} \quad [MPa] \quad [10](5.72)$$

$$W_K = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \quad [m^3] \quad [5](5.73)$$

$$\tau_{DK} = \frac{R_e \cdot 0.577}{k} \quad [10](5.74)$$

$$\tau_{DK} = \frac{368 \cdot 0.577}{2,5}$$

$$\tau_{DK} = 85 \quad MPa$$

Po dosazení a upravení:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_K \cdot 1000}{\pi \cdot \tau_{DK}}} \quad [10](5.75)$$
$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 593 \cdot 1000}{\pi \cdot 85}}$$
$$d = 32,9 \quad [mm]$$

Válcový konec hřídele volím dle [5]  $d_h=40$  [mm]

Průměr spojovacího hřídele volím  $d=45$  [mm]

#### 5.2.14. Návrh řetězového převodu

Určení typu řetězového převodu

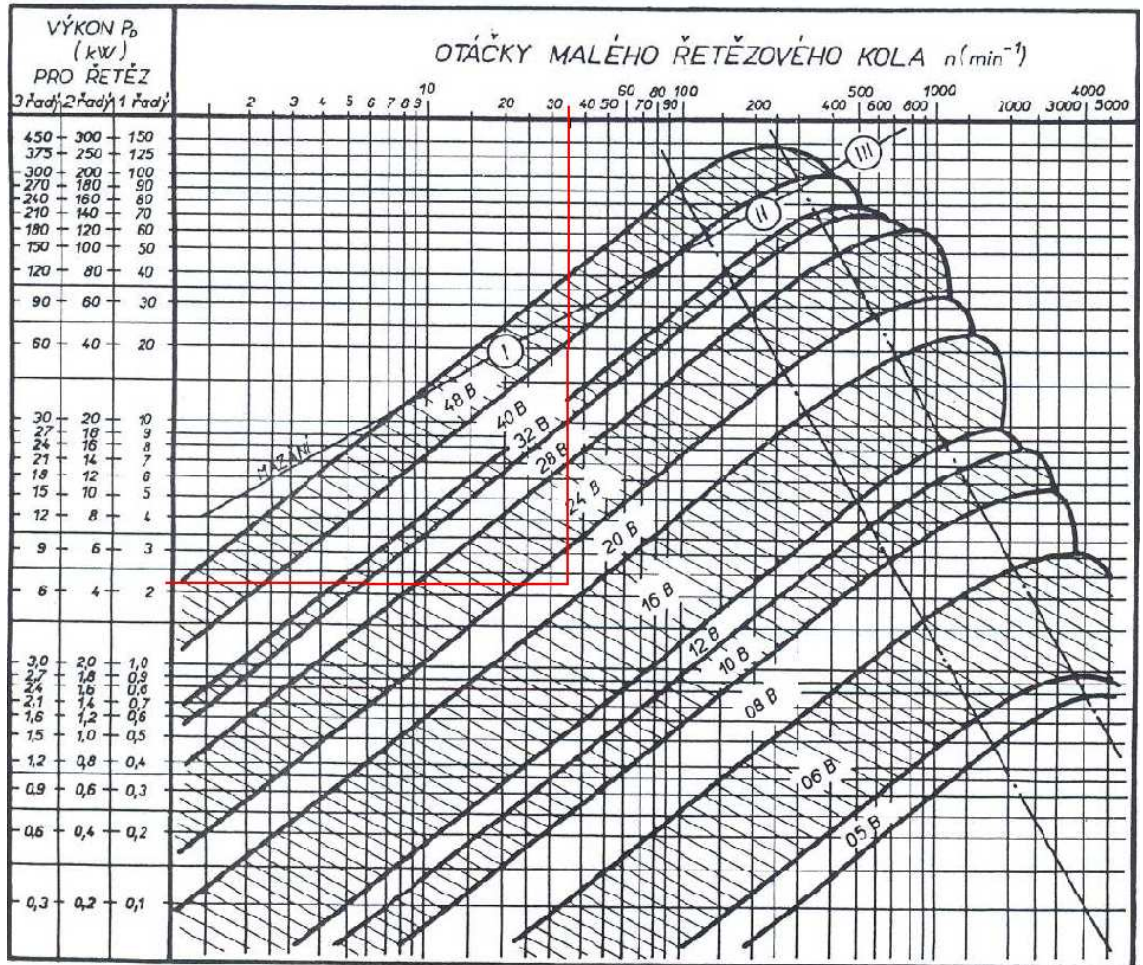
$$P_D = \frac{P}{\chi \cdot \mu \cdot \varphi} \quad [6](5.76)$$
$$P_D = \frac{2,2}{1 \cdot 0,9 \cdot 1}$$
$$P_D = 2,44 \quad [kW]$$

$\chi$ – činitel výkonu volím:  $\chi = 1$  [-]

$\mu$ – činitel mazání volím:  $\mu = 0,9$  [-]

$\varphi$ – činitel provedení řetězu volím:  $\varphi = 1$  [-]dle ČSN 02 3311

Dle obr. 35 volím řetěz **ŘETĚZ 20 B–1 ČSN 02 3311.2**



Obr. 35: Diagram určení vhodného převodového řetězu [6]

### Volba počtu zubů řetězových kol

Počet zubů hnací řetězky volím  $z_1=25$  zubů. Počet zubů hnané řetězky bude stejný, protože převod je řešen pomocí převodovky s převodovým poměrem  $i=40$  [-], a proto otáčky hnací řetězky odpovídají otáčkám hnané řetězky.



### Výpočet roztečných průměrů řetězek

Dle [6] volím  $t_\xi = 31,75$  [mm]

$$\begin{aligned}D_{t_1} &= D_{t_2} = D_t \\D_t &= \frac{t}{\sin \frac{180^\circ}{z_1}} \\D_t &= \frac{31,75}{\sin \frac{180^\circ}{25}} \\D_t &= 253 \text{ [mm]}\end{aligned} \quad [6] (5.77)$$

### Stanovení počtu článků řetězu

$$\begin{aligned}X &= 2 \cdot \frac{a}{t_\xi} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \left( \frac{z_2 - z_1}{2 \cdot \pi} \right)^2 \cdot \frac{t_\xi}{a} \\X &= 2 \cdot \frac{400}{31,75} + \frac{25 + 25}{2} + \left( \frac{25 - 25}{2 \cdot \pi} \right)^2 \cdot \frac{31,75}{400} \\X &= 50,2 \text{ [článků]}\end{aligned} \quad [6] (5.78)$$

Navrhuji počet článků  $X = 52$

### Stanovení délky řetězu

$$\begin{aligned}L_r &= X \cdot t_\xi \\L_r &= 52 \cdot 31,75 \\L_r &= 1651 \text{ [mm]}\end{aligned} \quad [6] (5.79)$$

### Výpočet skutečné osové vzdálenosti řetězu

$$a_{sk} = \frac{t_{\varepsilon}}{8} \cdot \left[ 2 \cdot X - z_1 - z_2 + \sqrt{(2 \cdot X - z_1 - z_2)^2 - F \cdot (z_2 - z_1)^2} \right] [6] \quad (5.80)$$

$$a_{sk} = \frac{31,75}{8} \cdot \left[ 2 \cdot 52 - 25 - 25 + \sqrt{(2 \cdot 52 - 25 - 25)^2 - 1 \cdot (25 - 25)^2} \right]$$

$$a_{sk} = 429 \quad [mm]$$

## 6. Pevnostní výpočty

### 6.1. Pevnostní kontrola řetězu

#### 6.1.1. Kontrola proti přetržení

##### Součinitel statické bezpečnosti

$$k_s = \frac{F_{Pt}}{F_1} \geq 7 \quad [6] \quad (6.1)$$

$$k_s = \frac{F_{Pt}}{F_1}$$

$$k_s = \frac{89000}{4824}$$

$$k_s = 18,45 \quad [-]$$

Řetěz vyhovuje statické bezpečnosti.

Dle [6] volím  $F_{Pt} = 89$  [kN]

Výsledný tah v řetězu

$$F_1 = F_o + F_c + F_m \quad [6] \quad (6.2)$$

$$F_1 = 4691,3 + 0,8 + 131,7$$

$$F_1 = 4824 \quad [N]$$

Obvodová síla

$$F_o = \frac{P_M}{v_r} = \frac{P_M}{\pi \cdot D_t \cdot n_{skut}} \quad [6] \quad (6.3)$$

$$F_o = \frac{2200}{\pi \cdot 0,253 \cdot 0,59}$$

$$F_o = 4691,3 \quad [N]$$

Tahová složka vyvolaná vlivem odstředivé síly

Dle [6] volím  $m_1 = 3,64$  [kg]

$$F_c = m_{1r} \cdot v_r^2 \quad [6] \quad (6.4)$$

$$F_c = 3,64 \cdot 0,47^2$$

$$F_c = 0,8 \quad [N]$$

Tahová složka vyvolaná vlastní tíhou

$$F_m = \frac{m_{1r} \cdot A^2}{8 \cdot y \cdot A} \cdot g \quad [6] \quad (6.5)$$

$$F_m = \frac{3,64 \cdot 0,295^2}{8 \cdot 0,01 \cdot 0,295} \cdot 9,81$$

$$F_m = 131,7 \quad [N]$$

**Součinitel dynamické bezpečnosti**

$$k_D = \frac{F_{Pt}}{F_1 \cdot Y} \geq 5 \quad [6] \quad (6.6)$$

$$k_D = \frac{89000}{4824 \cdot 1,5}$$

$$k_D = 12,3$$

Y – činitel rázu volím (dopravník pro sypký materiál): Y = 1.5 [-]

Řetěz vyhovuje dynamické bezpečnosti.

### 6.1.2. Kontrola měrného tlaku v kloubu řetězu

$$p_v \leq p_D$$
$$16,35 \leq 18,2$$

$$p_v = \frac{F_1}{A} \quad [6] \text{ (6.7)}$$

$$p_v = \frac{4824}{295}$$
$$p_v = 16,35 \text{ [MPa]}$$

$$p_D = p \cdot \lambda_t \quad [6] \text{ (6.8)}$$

$$p_D = 22,77 \cdot 0,8$$
$$p_D = 18,2 \text{ [MPa]}$$

$\lambda_t$  – činitel tření [-]

– volím dle [6]:  $\lambda_t = 0,8$  [-]

$p$  – směrný tlak v kloubu [MPa]

– volím dle [6]:  $p = 22,77$  [MPa]

Kontrola měrného tlaku v kloubu řetězu je splněna a řetěz vyhovuje. Avšak pohon pomocí řetězu je poměrně hlučný a při malém počtu zubů řetězového kola není zcela rovnoměrný chod.

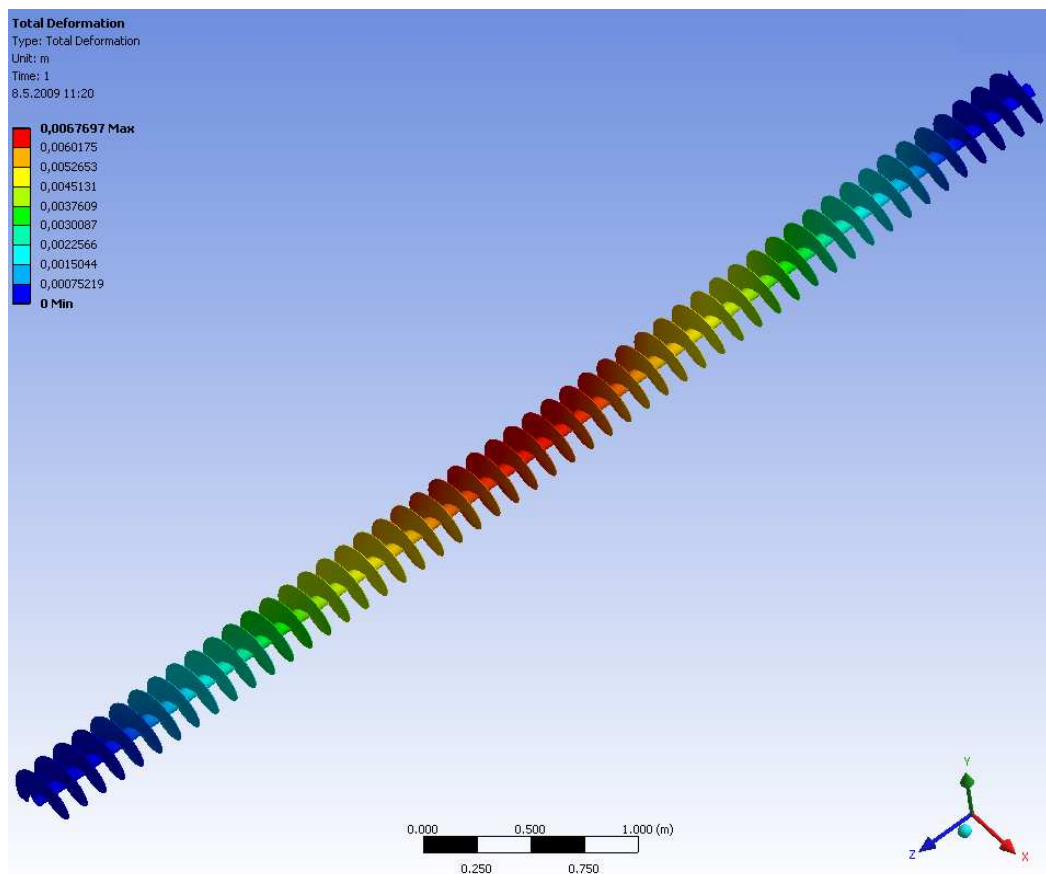
Navrhuji řešení pohonu pomocí elektromotoru s převodovkou v jednom kuse. Bude-li třeba regulovat otáčky navrhuji frekvenční měnič SED2-2,2/32B fa SIEMENS.

SED2 je třífázový frekvenční měnič sloužící k energeticky optimálnímu řízení otáček motoru. Dále tvoří ochranu proti podpětí, přepětí, chybnému zemnění, zkratu, zadření rotoru, přehřátí motoru i pohonu.

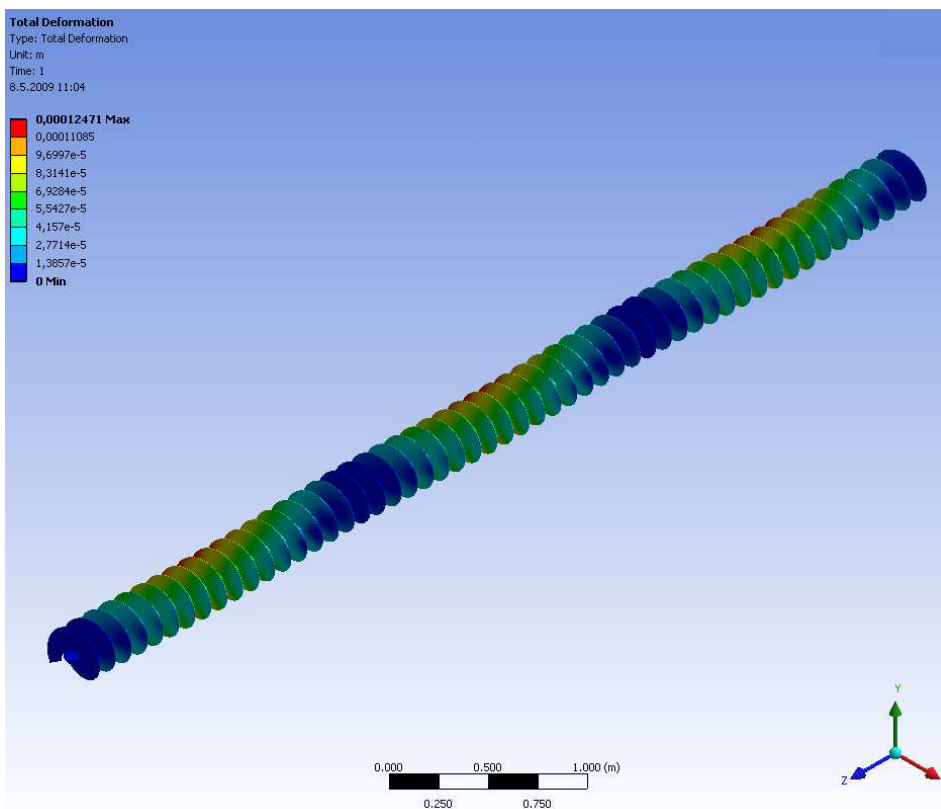
## 6.2. Kontrola hřídele šneku

### 6.2.1. Kontrola pomocí programu ANSYS

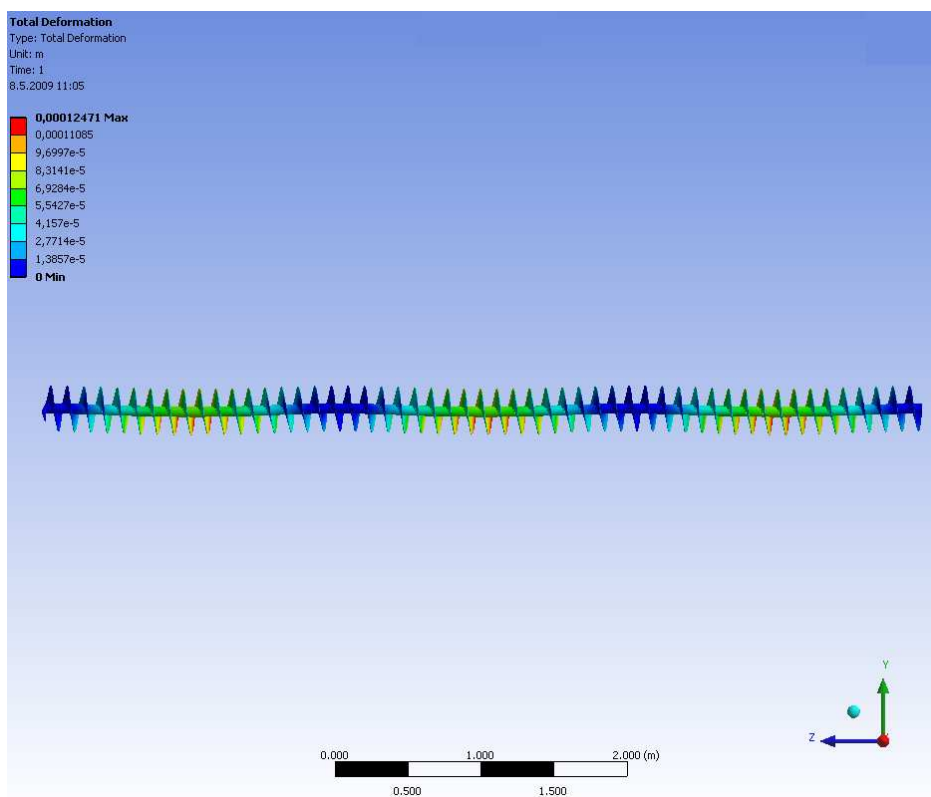
Na níže uvedených obrázcích jsou zobrazeny deformace šneku pomocí výpočtového programu ANSYS WORKBENCH, který využívá metody konečných prvků MKP. Na (obr. 36) je znázorněna deformace šneku podepřeného pouze krajními ložisky, přičemž maximální hodnota deformace je 7 [mm]. Z toho důvodu jsem se rozhodl šnek podepřít dvěma závěsnými ložisky a kontrolu jsem provedl znovu viz. (obr. 37), kde vyšla deformace šneku 0,124 [mm].



Obr. 36: Kontrola deformace šneku bez podpěrných ložisek v programu ANSYS



Obr. 37: Kontrola deformace šneku se dvěma podpěrnými ložisky v programu ANSYS



Obr. 38: Kontrola deformace šneku se dvěma podpěrnými ložisky v programu ANSYS

### 6.2.2. Kontrola hřídele na krut

$$\tau_K = \frac{M_K}{W_K} \leq \tau_{DK} \quad [MPa] \quad [10] \quad (6.9)$$

$$W_K = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{16 \cdot D} \quad [m^3] \quad [5] \quad (6.10)$$

Po dosazení a upravení:

$$\tau_K = \frac{M_K \cdot 1000 \cdot 16 \cdot D}{\pi \cdot (D^4 - d^4)} \quad [MPa] \quad [10] \quad (6.11)$$

$$\tau_K = \frac{593 \cdot 1000 \cdot 16 \cdot 70}{\pi \cdot (70^4 - 45^4)} \quad [MPa]$$

$$\tau_K = 10,6 \quad [MPa]$$

### 6.2.3. Kontrola hřídele na ohyb

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad [10] \quad (6.12)$$

$$\sigma_o = \frac{1465}{2,79 \cdot 10^{-5}}$$

$$\sigma_o = 52,5 \quad [MPa]$$

$$F_{oh} = \frac{(m_s + m_h + m_q) \cdot g}{3} \quad (6.13)$$

$$F_{oh} = \frac{448 \cdot 9,81}{3}$$

$$F_{oh} = 1465 \quad [N]$$

$$M_o = F_{oh} \cdot \frac{l_1}{2} \quad [10] \quad (6.14)$$

$$M_o = 1465 \cdot \frac{2}{2}$$

$$M_o = 1465 \quad [N \cdot m]$$

$$W_o = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} \quad [5] \quad (6.15)$$

$$W_o = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{0,07^4 - 0,045^4}{0,070}$$

$$W_o = 2,79 \cdot 10^{-5} \quad [m^3]$$

#### 6.2.4. Výpočet redukovaného napětí dle hypotézy HMH

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_k^2} \quad [10] \quad (6.16)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{52,5^2 + 3 \cdot 10,6^2}$$

$$\sigma_{red} = 55,6 \quad [MPa]$$

#### 6.2.5. Kontrola koeficientu bezpečnosti

Dle [5] volím materiál hřídele 11523, Re=284-490 [MPa]

$$k' = \frac{R_e}{\sigma_{red}} \quad [10] \quad (6.17)$$

$$k' = \frac{284}{55,6}$$

$$k' = 5 \quad [-]$$

Dle [10] volím koeficient bezpečnosti  $k = 2.5 [-]$

$k < k'$  - kontrola vyhovuje



Hřídel šneku splňuje podmínku bezpečnosti dvojnásobně, avšak bez podpěrných ložisek kontrola bezpečnosti splněna nebyla. Dalším důvodem proč navrhuji dvě podpěrná ložiska je, že budou umístěna pod výpustí posuvného dna, kde může nastat stav nadměrného zasypání materiálem. Proto kdyby tento stav nastal, tak s bezpečností  $k=5$  nehrozí ohyb hřídele šneku.

### 6.3. Výpočet průměru spojovacích kolíků

Dle [5] volím materiál 11 600,  $\tau_{DS} = 65$  [MPa]

$$M_K = \frac{F_K \cdot d \cdot i_K}{2 \cdot 1000} \quad [N \cdot m] \quad [10] \quad (6.18)$$

Po upravení:

$$F_K = \frac{2 \cdot 1000 \cdot M_K}{d \cdot i_K}$$

$$F_K = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 593}{45 \cdot 2}$$

$$F_K = 13177,8 \quad [N]$$

$i_K$ -počet kolíků

$$\tau_s = \frac{F_K}{i_K \cdot S_K} \leq \tau_{DS} \quad [MPa] \quad [10] \quad (6.19)$$

$$S_K = \frac{\pi \cdot d_K^2}{4} \quad [mm^2] \quad [5] \quad (6.20)$$

Po dosazení a upravení:

$$d_K = \sqrt{\frac{2 \cdot F_K}{\pi \cdot \tau_{DS}}} \quad [10] \quad (6.21)$$

$$d_K = \sqrt{\frac{2 \cdot 13177,8}{\pi \cdot 65}}$$

$$d_K = 11,36 \quad [mm]$$

Volím: **KOLÍK 12x80 A ISO 2339-St**

#### 6.4. Kontrola spojení hřídele v náboji pomocí pera

Pro  $d_h=40$  [mm] volím dle [5]  $t=4,9$  [mm] a  $t_1=3,1$  [mm]

$$p_2 = \frac{F_2}{l' \cdot t_1} \leq p_D \quad [MPa] \quad [10] (6.22)$$

$$l' = \frac{F_2}{p_D \cdot t_1}$$

$$l' = \frac{27517,4}{135 \cdot 3,1}$$

$$l' = 65,8 \quad [mm]$$

$$F_2 = \frac{M_K}{\frac{d_h}{2} + \frac{t_1}{2}} \quad [10] (6.23)$$

$$F_2 = \frac{593 \cdot 1000}{\frac{40}{2} + \frac{3,1}{2}}$$

$$F_2 = 27517,4 \quad [N]$$

$p_D$ - dovoleny tlak pro materiál 11600  $p_D=135$  MPa

Potřebná délka pera:

$$l = l' + b \quad [10] (6.24)$$

$$l = 65,8 + 12$$

$$l = 77,8 \quad [mm]$$

Navrhuji délku pera  $l=80$  [mm]

$$F_1 = \frac{M_K}{\frac{d_h}{2} - \frac{t}{2}} \quad [10] (6.25)$$

$$F_1 = \frac{593 \cdot 1000}{\frac{40}{2} - \frac{4,9}{2}}$$

$$F_1 = 33789,2 \quad [N]$$

$$p_1 = \frac{F_1}{l \cdot t} \leq p_D \quad [10] \quad (6.26)$$

$$p_1 = \frac{33789,2}{80 \cdot 4,9}$$

$$p_1 = 86 \quad [MPa]$$

$$p_1 \leq p_D$$

Podmínka je splněna, navrhuji **PERO 12e7x8x80 ČSN 02 2562**

## 6.5. Kontrola ložisek

Na ložisko působí dvě složky síly (radiální a axiální). Obě tyto složky musíme znát, abychom vypočetli životnost ložiska daného typu.

**Ekvivalentní zatížení ložiska:**

$$F_e = X \cdot V \cdot F_r \quad [10] \quad (6.27)$$

$$F_e = 1 \cdot 1 \cdot 16943$$

$$F_e = 16943 \quad [N]$$

V-rotační součinitel  $V=1$  [-]

X- radiální součinitel ložiska  $X=1$  [-]

Základní dynamická únosnost ložiska:

$$C = \sqrt[m]{\frac{60 \cdot n_{skut} \cdot L_h}{10^6} \cdot F_e} \quad [10] \quad (6.28)$$

$$C = \sqrt[3]{\frac{60 \cdot 0,59 \cdot 10000}{10^6} \cdot 16943}$$

$$C = 11986 \quad [N]$$

$L_h$ - požadovaná trvanlivost  $L_h=10\ 000$  [hod]

Volím **LOŽISKO 2209 E – 2RS1 TN9 ČSN 02 4650**

$$D=85 \quad [\text{mm}]$$

$$d=45 \quad [\text{mm}]$$

$$B=26 \quad [\text{mm}]$$

$$C=22900 \quad [\text{N}]$$



Obr. 39: Řez dvouřadým naklápěcím ložiskem s kosoúhlým stykem

$$L_{h10} = \left( \frac{C}{F_e} \right)^m \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_{skut}} \quad [10] \quad (6.29)$$

$$L_{h10} = \left( \frac{22900}{16943} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 0,59}$$

$$L_{h10} = 69748 \quad [\text{hod}]$$

Ložisko vyhovuje

### 6.5.1. Axiální síla působící na ložisko

#### Účinný poloměr šneku

$$R_s = 0,8 \cdot \frac{D_s}{2} \quad [4] \quad (6.30)$$

$$R_s = 0,8 \cdot \frac{0,315}{2}$$

$$R_s = 0,126 \quad [m]$$

#### Úhel stoupání šnekovnice

$$\varepsilon = \text{arctg} \frac{h}{\pi \cdot D_s} \quad [4] \quad (6.31)$$

$$\varepsilon = \text{arctg} \frac{0,113}{\pi \cdot 0,315}$$

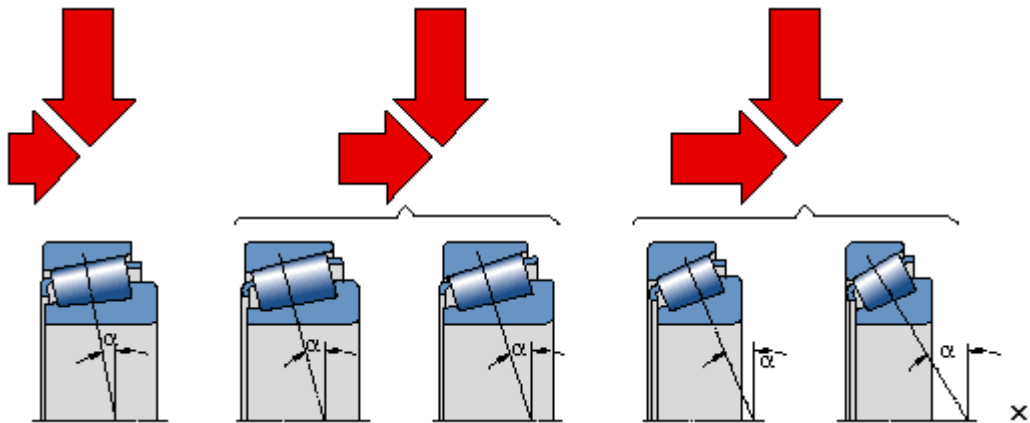
$$\varepsilon = 6,5 \quad [\text{deg}]$$

$$F_a = \frac{M_K}{R_s \cdot \operatorname{tg} \cdot (\varepsilon + \varphi_w)} \quad [10] \quad (6.32)$$

$$F_a = \frac{593}{0,126 \cdot \operatorname{tg} \cdot (6,5 + 18,77)}$$

$$F_a = 9969,9 \quad [N]$$

Navrhuji před převodovku jednořadé kuželíkové ložisko, které bude zachytávat jak axiální tak radiální sílu. Axiální únosnost kuželíkových ložisek do značné míry závisí na stykovém úhlu  $\alpha$ , který odpovídá úhlu oběžné dráhy vnějšího kroužku. Čím větší je úhel, tím vyšší je axiální únosnost (obr. 40).



Obr. 40: Schéma různých změn stykového úhlu  $\alpha$

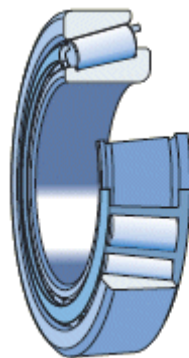
Volím **LOŽISKO 32009 X/Q ČSN 02 4720**

D=75 [mm]

d=45 [mm]

B=20 [mm]

C=58300 [N]

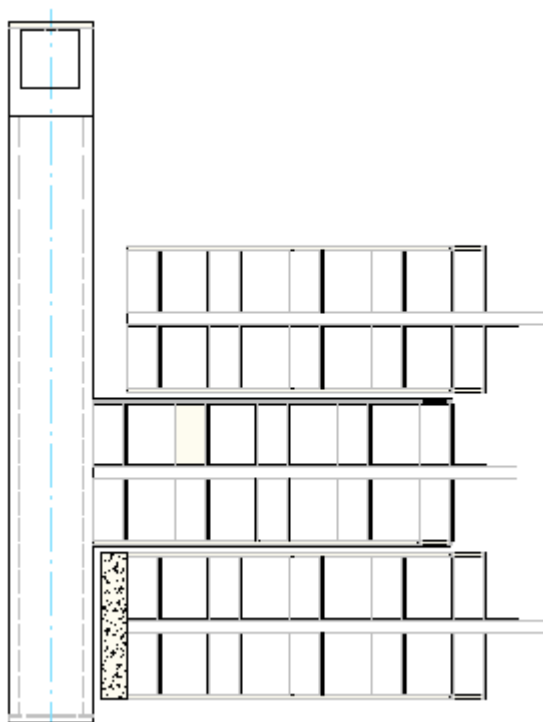


Obr. 41: Řez jednořadým kuželíkovým ložiskem

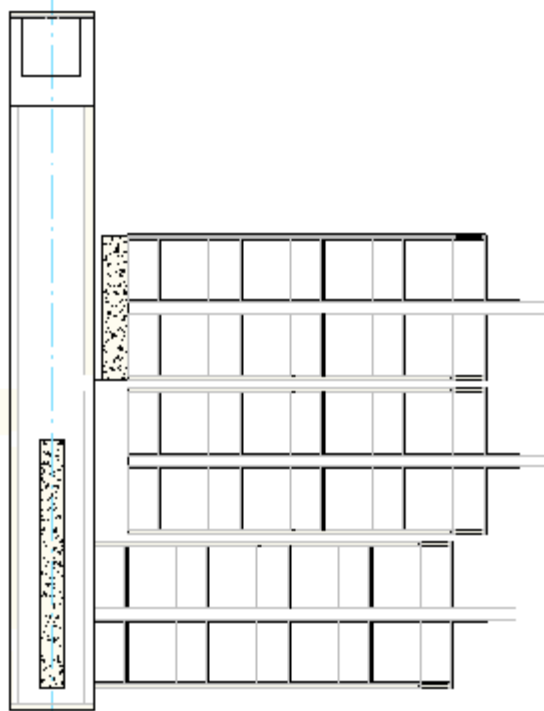
## 7. Znázornění způsobu vynášení materiálu

Následujícími obrázky bych chtěl poukázat na plynulost vynášení a návaznost jednotlivých dopravních prvků.

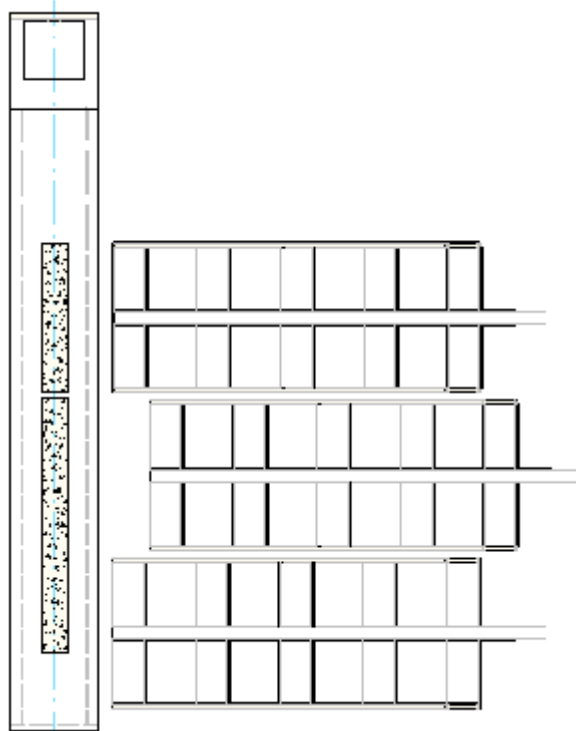
Po zapnutí zařízení bude posuvné dno vynášet materiál 1. sekcí do prázdného šneku. Jakmile materiál spadne do šnekového dopravníku začne se pohybovat kolmo k dosavadnímu pohybu a tudíž vzniká vrstva materiálu podobná obr. 46. Dále bude vynášet hrablo 3. sekce, které musí materiál vysypat dříve než dorazí materiál vysypaný 1. sekcí přímo pod něj. Následuje vynášení 2. sekce. Celá jedna perioda trvá 60 [s] a za tu dobu vynesou materiál všechny 3 sekce a cyklus se opakuje s tím rozdílem, že šnekový dopravník není prázdný, jako na začátku. Proto 3. sekce bude vysypávat materiál mezi dvě materiálové vrstvy (obr. 54). Kdyby vznikly malé materiálové vlny působením šnekovnice se rozmělní a doprava bude kontinuální a plynule navazovat na dílčí dopravní prvky.



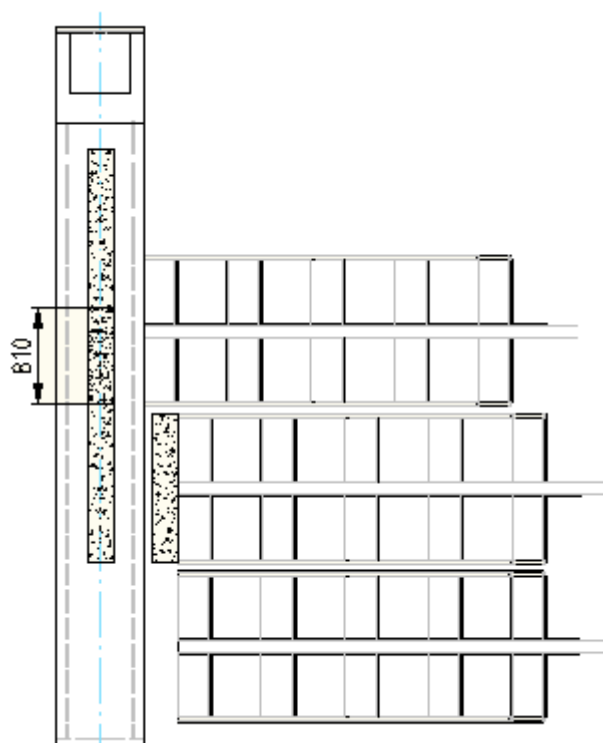
Obr. 42: Schéma vynášení materiálu v čase  $t = 0$  s



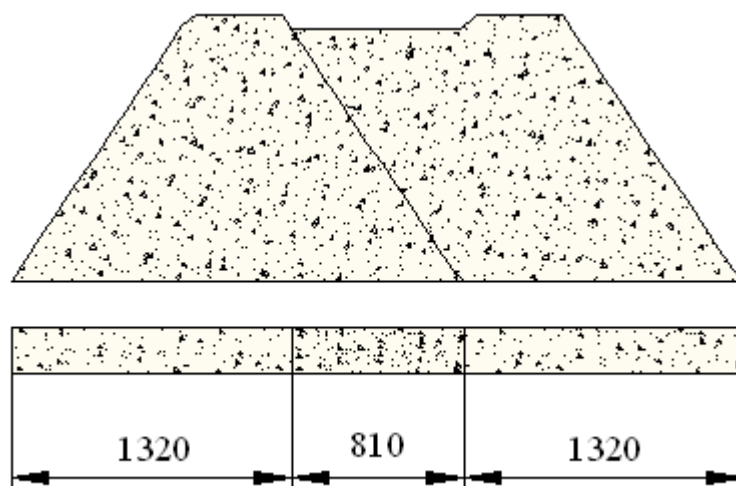
Obr. 43: Schéma vynášení materiálu v čase  $t = 20$  s



Obr. 44: Schéma vynášení materiálu v čase  $t = 27$  s

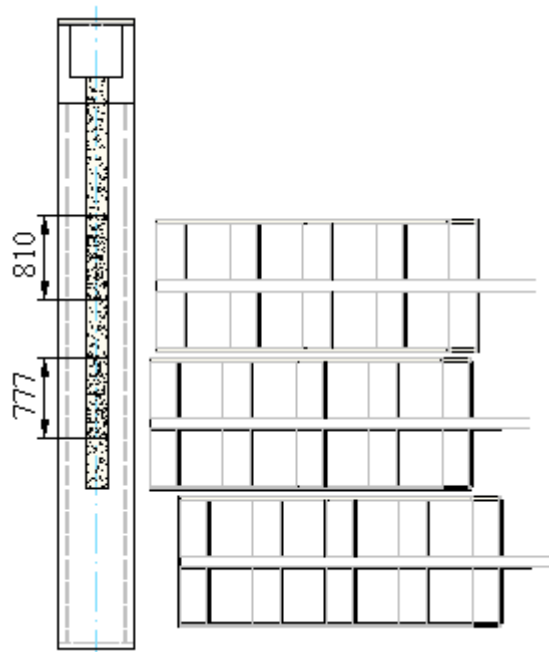


Obr. 45: Schéma vynášení materiálu v čase  $t = 40$  s

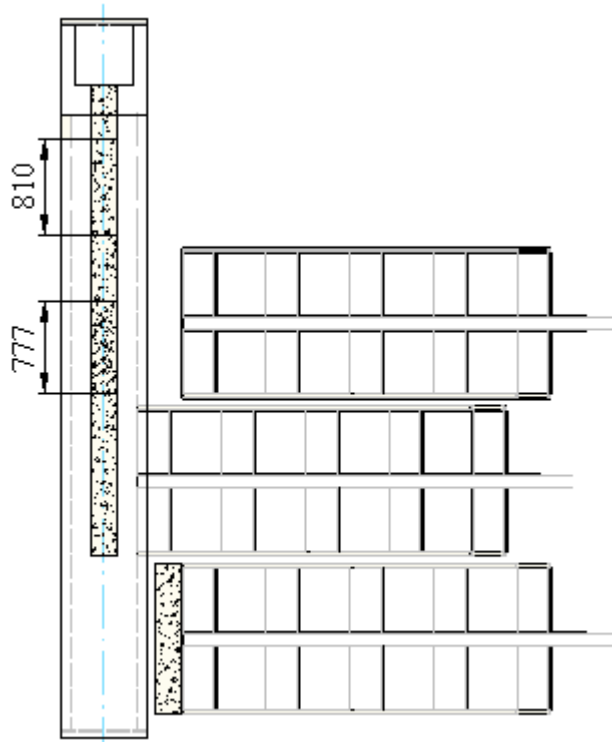


Obr. 46: Schéma vrstvy zasypání šneku v čase  $t = 40$  s

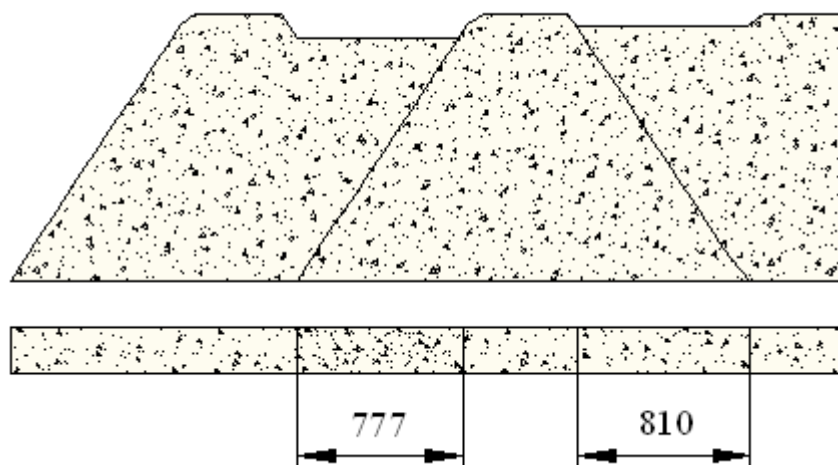




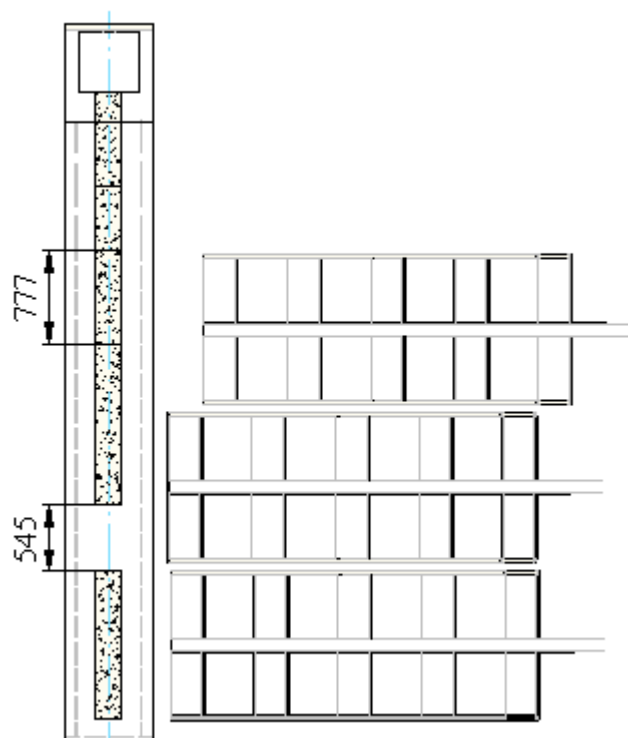
Obr. 47: Schéma vynášení materiálu v čase  $t = 47$  s



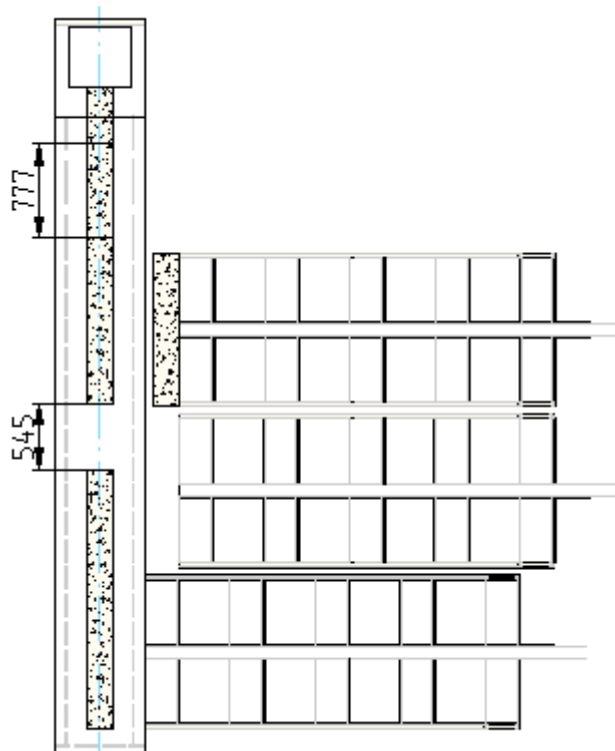
Obr. 48: Schéma vynášení materiálu v čase  $t = 60$  s



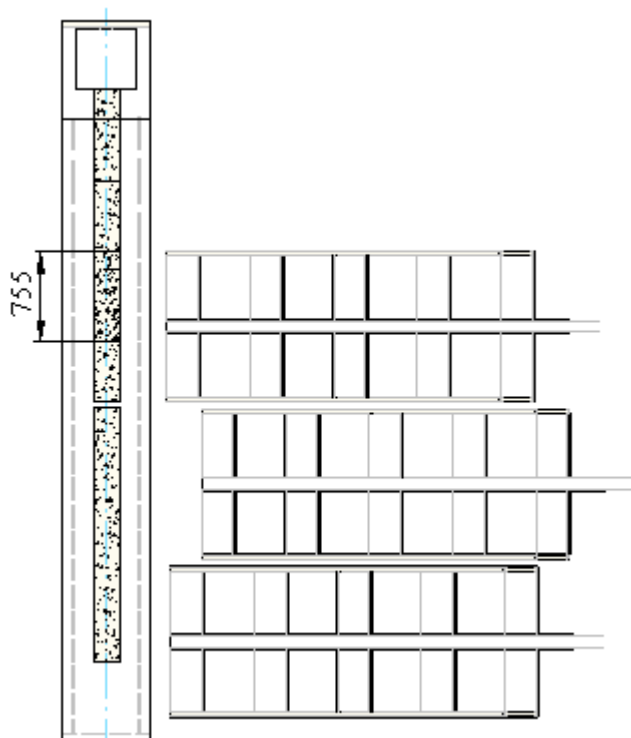
Obr. 49: Schéma vrstvy zasypání šneku v čase  $t = 60$  s



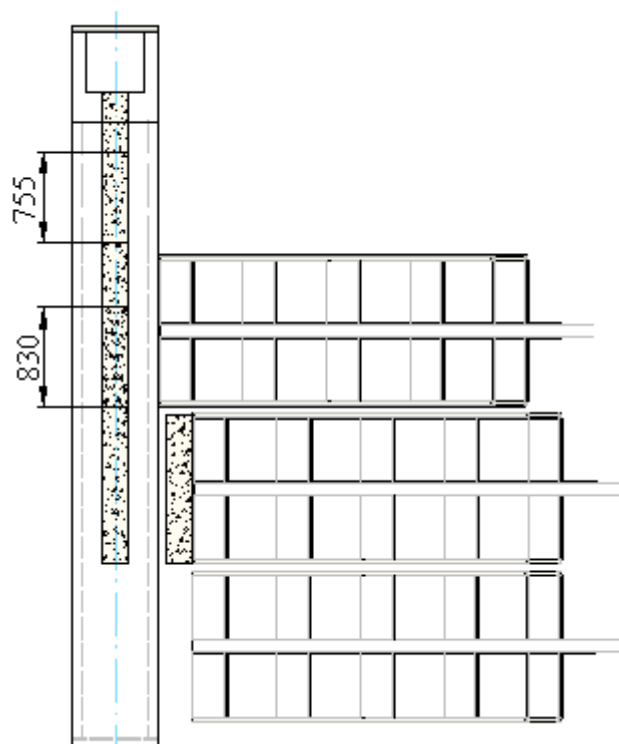
Obr. 50: Schéma vynášení materiálu v čase  $t = 67$  s



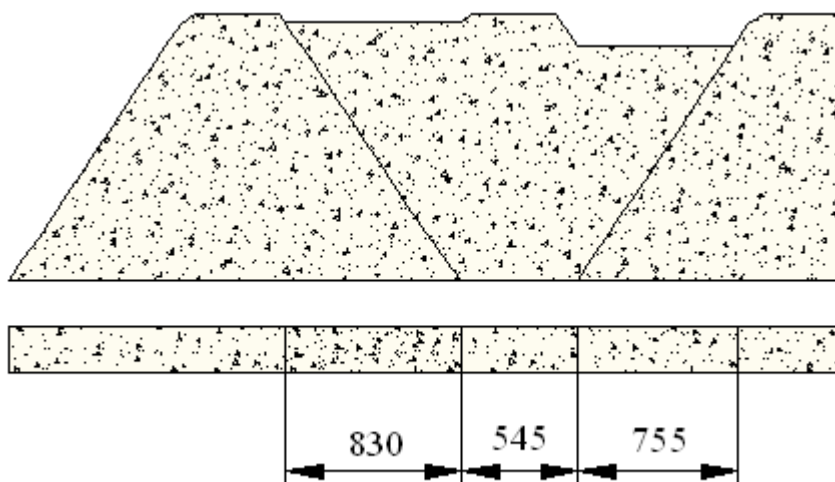
Obr. 51: Schéma vynášení materiálu v čase  $t = 80$  s



Obr. 52: Schéma vynášení materiálu v čase  $t = 87$  s



Obr. 53: Schéma vynášení materiálu v čase  $t = 100$  s



Obr. 54: Schéma vrstvy zasypání šneku v čase  $t = 100$  s

## 8. Ekonomické zhodnocení navržené varianty

Navržená varianta č. 6 se skládá z posuvného dna a na něj navazujícího šnekového dopravníku. Posuvné dno je konstruováno jako tři samostatné sekce hrabel. Sekce hrabel je svařená konstrukce uváděná do pohybu pomocí přímočarých hydromotorů. Navazující šnekový dopravník se skládá z 6 [m] dlouhého šneku usazeného do žlabu tvaru písmene U. Pohon šneku je tvořen motorem s převodovkou, kde regulaci otáček a ochranu proti přetížení zastává frekvenční měnič. Cena frekvenčního měniče bude malinko vyšší, než řešení řetězovým převodem, ale očekávané úspory vzniknou při minimálních odstávkách kotle teplárny. Další z výhod varianty č. 6 jsou minimální náklady na údržbu. Předpokládané náklady na údržbu jsou odvozeny pro systém dopravy biopaliva. V tabulce jsou uvedeny pořizovací náklady i s montáží. Generální opravu bude nutné dělat zhruba co 5 - 8let.

Ekonomické zhodnocení	
Název	Cena [Kč]
Vynášecí dno	466 000,-
Šnekový dopravník	719 000,-
Údržba	30 000,-
<b>Celkem</b>	<b>1 215 000,-</b>

Obr. 52: Tabulka ekonomického zhodnocení

Údržba	
Název opravy	Cena [Kč]
Vynášecí dno přetěsnění válců	5 000,-
Repasování šnekovnice	100 000,-
Výměna ložisek	30 000,-
Generální oprava	150 000,-

Obr. 53: Tabulka nákladů na údržbu

## 9. Závěr

Do kotelny pod výpusť zásobníku bude nainstalováno posuvné dno, které bude přímočarým vratným pohybem vynášet biohmotu ze zásobníku do výsypky o rozměrech 430x4000 [mm]. Vynášecí dno se bude skládat ze tří sekcí, z nichž každé bude mít pět za sebou přivařených hrabel. Dopravní množství se bude regulovat pomocí stavěcích hradítek, které budou součástí zásobníku. Na vynášecí dno bude navazovat šnekový dopravník, který biohmotu dopraví do pneumatického pohazovače kotle. Délka šnekového dopravníku bude 6 [m] a průměr šnekovnice 315 [mm].

### 9.1. Parametry vynášecího dna

Dopravní množství:	1,9 [t/hod]
Délka dna:	3570 [mm]
Šířka dna:	4000 [mm]
Výška dna:	80 [mm]
Dopravní vzdálenost:	430 [mm]
Sklon:	0 [deg]
Rychlost posuvu sekce:	0,86 [m/min]
Vstupní otvor:	2020x4000 [mm]
Výstupní otvor:	430x4000 [mm]

### 9.2. Parametry šnekového dopravníku

Dopravní množství:	1,8 [t/hod]
Délka dopravníku:	6000 [mm]
Šířka dopravníku:	520 [mm]
Výška dopravníku:	530 [mm]
Dopravní vzdálenost:	5400 [mm]
Sklon:	0 [deg]
Otáčky šneku:	35,4 [ot/min]

Vstupní otvor:	430x4000 [mm]
Výstupní otvor:	500x500 [mm]

### **9.3. Popis zařízení**

Pod výpusť zásobníku je umístěno posuvné dno skládající se ze tří sekcí hrabel. Sekce se pohybují střídavě a vynášejí za sebou ve 20. vteřinových intervalech tak, aby bylo splněno dopravní množství 1,9 [t/hod]. Posuvné dno je svařeno z pěti hrabel, kde krajní hrablo plní funkci vynášení. Posuvné dno vynáší biohmotu do výpusti o rozměrech 430x4000 [mm].

Na posuvné dno navazuje šnekový dopravník, který aby splnil plynulost dopravy musí mít dopravní rychlost shodnou s posuvným dnem. Z toho důvodu bylo upraveno stoupání šneku, a proto na délce dopravníku dlouhém 6 [m] je navařeno 53 závitů šnekovnice. Šnekový dopravník dopravuje biohmotu směrem ke kotli do výpusti o rozměrech 500x500 [mm]

### **9.4. Údržba zařízení**

Údržba zařízení zahrnuje, jak vizuální kontrolu, tak běžné mazání pohyblivých částí až po opravy opotřebovaných součástí zařízení. Při provádění údržby musí být zařízení vypnuto a pracovníci se musí řídit bezpečnostními předpisy vztahujícím se k činnosti, kterou chtějí provádět.

## 10. Seznam použitých pramenů

- [1] Polák, J., Pavliska, J., Slíva, A.: *Dopravní a manipulační zařízení I.* Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2001
- [2] Polák, J., Bailotti, K., Pavliska, J.: *Dopravní a manipulační zařízení II.* Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2003
- [3] Dražan, F., Jeřábek, K.: *Manipulace s materiálem.* Praha: SNTL Praha, 1978
- [4] Pešat, Z.: *Manipulace s materiálem v hutích.* VŠB-TU Ostrava  
ISBN 80-7078-107-6
- [5] Leinveber, J., Řasa, J., Vávra, P.: *Strojírenské tabulky.* Praha: Scientia, 1998.
- [6] Kříž, R.: *Strojnické tabulky II – pohony.* Praha: SNTL Praha, 1978.
- [7] Kopáček, J., Pavlok, B.: *Tekutinové mechanismy.* Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2005
- [8] Zegzulka, J.: *Mechanika sybkých hmot.* Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004.
- [9] Smrž, M.: *Cesta k energetické svobodě.* 2001
- [10] Kaláb, K.: *Části a mechanismy strojů.* VŠB-TU Ostrava  
ISBN 978-80-248-1290-8
- [11] Martínek, P.: *Transportní zařízení,* VŠB-TU Ostrava, 1993
- [12] Internetové stránky firem:
  - [www.hammel.cz](http://www.hammel.cz)
  - [www.kesner.cz](http://www.kesner.cz)
  - [www.cez.cz](http://www.cez.cz)
  - [www.adaptodopravniky.cz](http://www.adaptodopravniky.cz)
  - [www.biom.cz](http://www.biom.cz)
  - [www.deltaeng.cz](http://www.deltaeng.cz)
  - [www.stoza.cz](http://www.stoza.cz)
  - [www.strojmont.cz](http://www.strojmont.cz)
  - [www.gross-stahl.cz](http://www.gross-stahl.cz)
  - [www.ferona.cz](http://www.ferona.cz)
  - [www.skf.cz](http://www.skf.cz)



## 11. Seznam příloh

**Příloha 1** - Zkoušky mechanicko-fyzikálních vlastností biohmoty

### **Výkresová dokumentace:**

1	VYL019-01-00	DISPOZICE KOTELNY
2	VYL019-00-00-00	POSUVNÉ DNO
3	VYL019-00-00-01	ŠNEKOVÝ DOPRAVNÍK

Děkuji prof. Ing. Jiřímu Zegzulkovi, CSc za odborné vedení práce, poskytování rad a materiálových podkladů. Panu Ing. Michalu Pravdíkovi za připomínky, poskytnutí počátečních materiálů a oponentování práce. V neposlední řadě panu Ing. Robertovi Brázdovi Ph.D. za vstřícnost při měření materiálu v laboratoři sypkých hmot.