

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Separace nežádoucích materiálů z biomasy před procesem
zplyňování

Separation of Undesirable Materials from Biomass Prior to the
Gasification Process

Student:

Jakub Kovář

Vedoucí Bakalářské práce:

Ing. Petr Kopec

Ostrava 2015

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Kovář**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R013 Robotika
Téma: **Separace nežádoucích materiálů z biomasy před procesem zplyňování**
Separation of Undesirable Materials from Biomass Prior to the Gasification Process

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte analýzu současného stavu separačních systémů. Vyberte vhodné typy dle účelu použití technologie.
2. Navrhněte varianty řešení separačního systému. Hodnotovou analýzou vyberte optimální variantu, kterou zpracujete do formy technického řešení.
3. Práci doplňte podrobnou technickou a výpočtovou dokumentací. Výkresovou dokumentaci vypracujte dle dohody s vedoucím práce.
4. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu editoru MSWORD a technické řešení v CAD systému.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- [2] ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [3] KONEČNÝ, Z. *Základy technické dokumentace*. Ostrava: VŠB v Ostravě, 2004. 86s. ISBN 80-248-0514-6.
- [4] POLÁK, Jaromír, Karel BAILOTTI, Jiří PAVLISKA a Leopold HRABOVSKÝ. *Dopravní a manipulační zařízení II*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2003, 104 s. ISBN 80-248-0493-x.
- [5] POLÁK, Jaromír a Aleš SLÍVA. *Dopravní a manipulační zařízení III*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 133 s. ISBN 80-248-0963-x
- [6] ZEGZULKA, Jiří. *Mechanika sypkých hmot*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004, 186 s. ISBN 80-248-0699-1.

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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Kopec**

Datum zadání: 31.10.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



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

Místopřísežné 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: 19. 5. 2015

..... *Novák*

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 jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské 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 – bakalářskou 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).
- 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 :18.5.2015

.....

Jakub Kovář

Na Kúty 449

747 69, Pustá Polom

Poděkování

Rád bych poděkoval mému vedoucímu Ing. Petru Kopcovi za cenné rady a připomínky, které mi pomohly k dokončení této práce.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KOVÁŘ, J. *Separace nežádoucích materiálů z biomasy před procesem zplyňování: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2015, 53 s. Vedoucí práce: Kopec, P.

Tato práce se zabývá návrhem zařízení pro separaci nežádoucího materiálu z převáděné biomasy před zplyňováním. V první části práce je uveden krátký náhled na proces zplyňování a také rešerše separačních metod používaných v tomto odvětví. Práce dále obsahuje návrh variant z nichž jedna je vyhodnocena pomocí hodnotové analýzy jako optimální. Pro tuto variantu jsou dále provedeny potřebné výpočty, vytvořen model a vypracována výkresová dokumentace za použití programu Creo 3.0. V závěru této práce jsou zhodnoceny dosažené výsledky.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KOVÁŘ, J. *Separation of Undesirable Materials from Biomass Prior to the Gasification Process: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB - Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2015, 53 p. Thesis head: Kopec, P.

This thesis deals with the design of a device for separation of undesirable material from the biomass prior to gasification. The introduction includes a brief preview of the gasification process and the preliminary research of separation methods used in this field. The work also contains draft of variants of which one is evaluated using value analysis as optimal. For this variant, necessary calculations were made as well as model and drawings which were made using Creo Parametric 3.0. In conclusion of this work, achievements are assessed.

Obsah:

1	Úvod.....	12
2	Proces zplyňování	13
3	Separace dřevní štěpky.....	15
3.1	Třídění sypkého materiálu dle velikosti.....	15
3.2	Magnetická separace.....	16
3.3	Fluidní separace	17
3.4	Vodní separace.....	17
4	Požadavkový list	18
5	Zpracování variant	19
5.1	Fluidní separace (varianta A).....	19
5.2	Sink-float separace (varianta B)	21
5.3	Separace s vibračním dopravníkem	23
6	Hodnotová analýza.....	25
6.1	Kritéria hodnotové analýzy a hodnocení variant	25
6.2	Volba významnosti kritérií	26
6.3	Výsledek hodnotové analýzy	26
7	Návrh pásového dopravníku	28
7.1	Výpočet pásového dopravníku.....	28
7.2	Konstrukční návrh pásového dopravníku	35
7.3	Určení vrhové paraboly	39
8	Návrh větrného třídiče.....	41
8.1	Vznos materiálu	41
8.2	Konstrukční návrh větrného třídiče	44
9	Sestava třídiče	48
10	Závěr	50
11	Použité zdroje.....	51
12	Seznam příloh.....	53

Seznam použitého značení

B	šířka pásu	[m]
D_b	průměr bubnu	[m]
E	modul pružnosti	[N]
F	obvodová síla na hnacím bubnu	[N]
F_1	síla pro překonání odporů	[N]
F_2	síla pro překonání dopravní výšky	[N]
F_B	odpor v ohybu pásu na bubnu a v ložiskách bubnu	[N]
F_{Bv}	odpor tření mezi dopravovanou hmotou a bočním vedením	[N]
F_c	odpor čističe pásu	[N]
F_{dov}	dovolená síla natahující pás	[N]
F_{kr}	kritická síla	[N]
F_{max}	mezní síla	[N]
F_n	nabíhající síla	[N]
F_N	normálová síla	[N]
F_{N1}	odpor setrvačných sil v místě nakládky	[N]
F_{N2}	odpor tření mezi dopravovanou hmotou a bočním vedením v místě urychlování	[N]
F_{ns}	skutečná napínací síla	[N]
F_O	odbíhající síla	[N]
F_{OS}	skutečná odbíhající síla	[N]
F_p	síla pro překonání vedlejších odporů	[N]
F_s	odpor shrnovače materiálu	[N]
F_{SV}	odpor shazovacího pásu	[N]
F_T	třecí síla	[N]
F_z	napínací síla	[N]
F_z	zatěžující síla	[N]
H_1	převýšení shazovacího vozu	[m]
J	kvadratický moment	[mm ⁴]
J_M	moment setrvačnosti motoru	[kg·m ²]
J_p	moment setrvačnosti převodovky	[kg·m ²]
J_s	moment setrvačnosti spojky	[kg·m ²]
L	délka dopravníku	[m]
M_B	moment použité brzdy	[N·m]
M_{B1}	brzdňý moment potřebný k zastavení dopravníku	[N·m]
M_{B2}	brzdňý moment potřebný k udržení dopravníku v klidu	[N·m]
M_{DM}	dynamický moment od zpoždění posuvných hmot dopravníku redukovaný na hřídel motoru	[N·m]
M_M	moment elektromotoru	[N·m]
M_{SM}	statický moment od zatížení dopravníku redukovaný na hřídel motoru	[N·m]

P	výkon pohonu pásového dopravníku	[W]
Q	Dopravované množství	[t·h ⁻¹]
Q _v	průtok vzduchu	[m ³ ·h ⁻¹]
S	skutečný průřez náplně pásu	[m ²]
S _d	plocha na konci dýzy	[m ²]
S _p	požadovaný průřez náplně pásu; obsah pevné částice	[m ²]
V _p	objem pevné částice	[m ³]
b	zaplněná šířka pásu	[m]
b ₁	světla šířka bočního vedení	[m]
f	globální součinitel tření	[-]
f _{o-d}	koeficient tření mezi ocelí a dřevem	[-]
g	tíhové zrychlení	[m·s ⁻²]
i _p	převodový poměr převodovky	[-]
k _B	součinitel bezpečnosti brzdy	[-]
k _φ	součinitel plnění pásu	[-]
l _N	délka násypky	[m]
m _p	měrná hmotnost dopravního pásu	[kg·m ⁻¹]
m _v	měrná hmotnost rotujících částí válečků	[kg·m ⁻¹]
m _{vd}	hmotnost rotujících částí 1 válečku dolní větve	[kg]
m _{vh}	hmotnost rotujících částí 1 válečku horní větve	[kg]
n _B	počet brzd	[ks]
n _c	počet čističů pásu	[ks]
n _M	otáčky motoru	[s ⁻¹]
n _{vd}	počet válečků dolní větve	[ks]
n _{vh}	počet válečků horní větve	[ks]
p _{dov}	dovolený tlak mezi pásem a bubnem	[MPa]
q	měrná hmotnost dopravovaného materiálu	[kg·m ⁻¹]
t ₁	rozteč podpěr horní větve	[m]
t ₂	rozteč podpěr spodní větve	[m]
t _b	dobra brzdění dopravníku	[s]
v	rychlost pásu	[m·s ⁻¹]
v ₀	složka rychlosti dopravovaného materiálu ve směru pohybu pásu	[m·s ⁻¹]
v _{vmin}	minimální rychlost proudu vzduchu	[m·s ⁻¹]
w	měrný pohybový odpor dopravníku	[-]
ΣJ _b	moment setrvačnosti všech bubnů dopravníku	[kg·m ²]
Ψ _d	dynamický sypný úhel	[°]
α _B	úhel normály paraboly v bodě B	[°]
α _G	úhel opásání	[°]
β	úhel tečny normály v bodě B	[°]
ε	úhel sklonu dopravníku	[°]
ε _m	mezerovitost materiálu	[-]

η	účinnost poháněcí stanice	[-]
μ	součinitel tření	[-]
μ_B	součinitel tření mezi dopravovaným materiálem a bočním vedením	[-]
μ_z	koeficient zatížení	[-]
ρ_D	hustota dřeva	[kg·m ⁻³]
ρ_p	hustota pevné částice	[kg·m ⁻³]
ρ_s	sytná hmotnost	[kg·m ⁻³]
ρ_v	hustota vzduchu	[kg·m ⁻³]
σ_{dov}	dovolené napětí v pásu	[N·m ⁻¹]

1 Úvod

Separace materiálů je nepostradatelnou součástí mnoha technologických procesů. Vyšší efektivita separace zvyšuje životnost zařízení a celkovou kvalitu a efektivitu procesu. V tomto konkrétním případě separace zabraňuje zasekávání klapky zplyňovacího kotle a dále zajišťuje homogenní velikost zrn štěpky.

Na českém trhu je několik firem zabývajících se touto problematikou. Existují zde firmy specializující se na výrobu magnetických separátorů jako například firma MAG centrum s.r.o nebo WAMAG, spol s.r.o a dále firmy nabízející komplexní řešení separace, kupříkladu firmy ODES s.r.o. nebo Nederman.

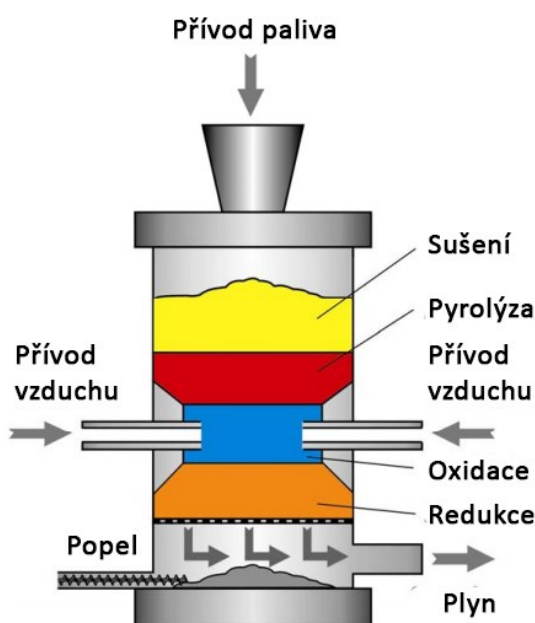
Kvůli specifickým požadavkům na převáděný materiál a funkci zařízení, vyžaduje daný problém specializované řešení, které nelze zajistit nákupem běžného sortimentu uvedených firem.

2 Proces zplyňování

Zplyňování je proces, při kterém je dřevní štěpka dodávána do generátorů, kde projde několika fázemi zpracování - sušením, pyrolýzou, oxidací a redukcí. Je to alternativa ke spalování biomasy. Při zplyňování vzniká plyn, který se dá využít buď k výrobě vodíku, jako zdroj tepelné energie a nebo jako palivo do kogeneračních jednotek. Tento plyn se skládá z oxidu uhelnatého, vodíku, oxidu uhličitého, metanu a dusíku. Po procesu obsahuje plyn i nečistoty jako dehet nebo popílek. Výhřevnost generátorového plynu se pohybuje v rozmezí 4 až 5 MJ/Nm³. [10] Část tepelné energie může být využívána pro předsušení štěpky.

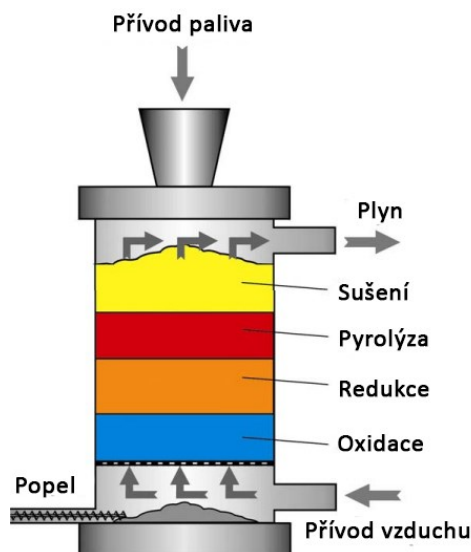
Efektivita zplyňování závisí na kvalitě paliva zejména pak na vlhkosti a zrnitosti. Průměrný obsah vody ve dřevní štěpce je 50%. Optimální vlhkost paliva se mění v závislosti na typu generátoru. V dnešní době se využívají tři základní typy generátorů: Souproudý, protiproudý a fluidní.

Souproudé zplyňovače (Obr. č. 2.1) se využívají pro pece s nepřetržitým provozem, žíhací pece, motory s vnitřním spalováním, nebo jako kotle. Výstupní teplota plynu bývá 200-700°C. Jejich výhodou je nízký obsah dehtu v plynu. Nevýhodou pak je limitující velikost zařízení maximálně 1-2 MW a vysoké požadavky na palivo. Optimální vlhkost štěpky je zde 12-20%. Účinnost těchto zařízení se pohybuje mezi 60 a 70%. [4]



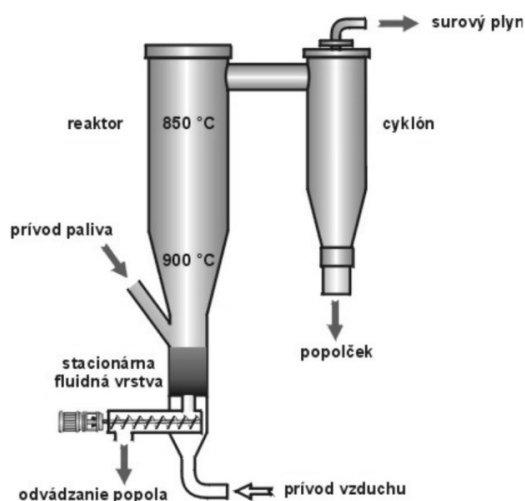
Obr.č. 2.1. Souproudý zplyňovač [4]

Protiproudé zplyňovače (Obr. č. 2.2) nacházejí využití jako tepelné fluidní přehřívače, nebo jako zdroj tepla pro žíhací pece. Tento typ generátorů má vysokou termickou účinnost a nižší nároky na vlhkost paliva a to 40-50%. Nevýhodou je vysoký obsah dehtu v plynu a to více než 100 g.m^{-3} . [4]



Obr.č. 2.2. Protiproudý zplyňovač [4]

Fluidní generátory (Obr. č. 2.3) se realizují ve dvou provedeních a to jako tlakové a nebo atmosférické. Vlastnosti obou provedení jsou podobné. Fluidní generátory dosahují nejvyšších výkonů. Nevýhodou je vysoký obsah dehtu a prachových částic v plynu.



Obr.č. 2.3. Fluidní zplyňovač [4]

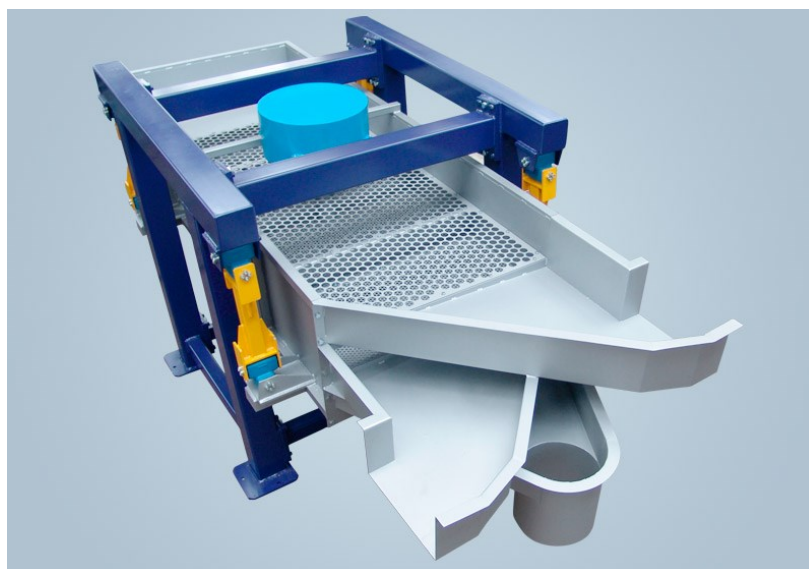
3 Separace dřevní štěpky

Dřevní štěpka, jakožto palivo pro zplyňovače, obsahuje nežádoucí materiál přimísený v rámci výroby a transportu dřevní štěpky, mezi hlavní lze zařadit kovové předměty, kameny, šterk, nebo hlínu, tyto příměsi způsobují zasekávání klapky či usazování nečistot v generátoru, celkově tak snižují životnost zařízení a zejména vedou k četným odstávkám, což sebou nese ekonomické ztráty plynoucí z účelu tohoto zařízení. Proto je nutné štěpku od těchto příměsí oddělit a dále zajistit co nejhomogennější velikost zrn samotné štěpky z důvodu vyšší efektivity procesu.

Existuje několik principů separace materiálů, které jsou využitelné pro separaci dřevní štěpky. Pro dosažení požadované kvality paliva je nutné použít jejich kombinaci.

3.1 Třízení sypkého materiálu dle velikosti

Pro zajištění optimální velikosti zrn se využívají například vibrační síta (Obr. č. 3.1), která posouvají materiál po děrované plošině. Větší kusy pokračují v definovaném směru zatímco menší kusy propadnou sítím na paralelní cestu. Tato síta mohou být dvou, či vícecestná. Výkony vibračních sít jsou různé v řádech jednotek i stovek tun za hodinu. Využívají se v různých odvětvích průmyslu jako například v železárenském, potravinářském, farmaceutickém nebo při recyklaci.



Obr.č. 3.1. *Vibrační síto [5]*

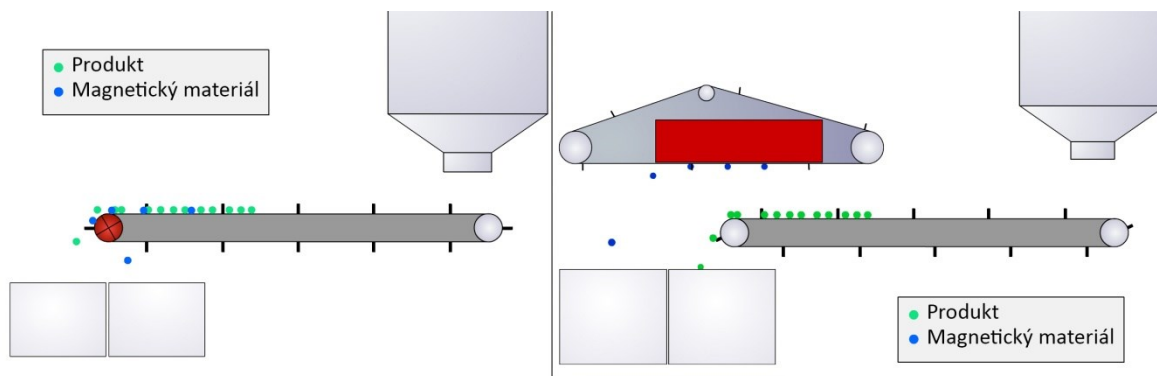
Dalším možným řešením jsou kotoučové třídíče. Tato zařízení využívají k separaci soustavu rotujících válců osazených kotouči. Mezi kotouči a válci je mezera přizpůsobená požadavkům separace. Těmito mezerami pak propadají menší kusy třízeného materiálu.



Obr.č. 3.2. *Kotoučový třídíč*

3.2 Magnetická separace

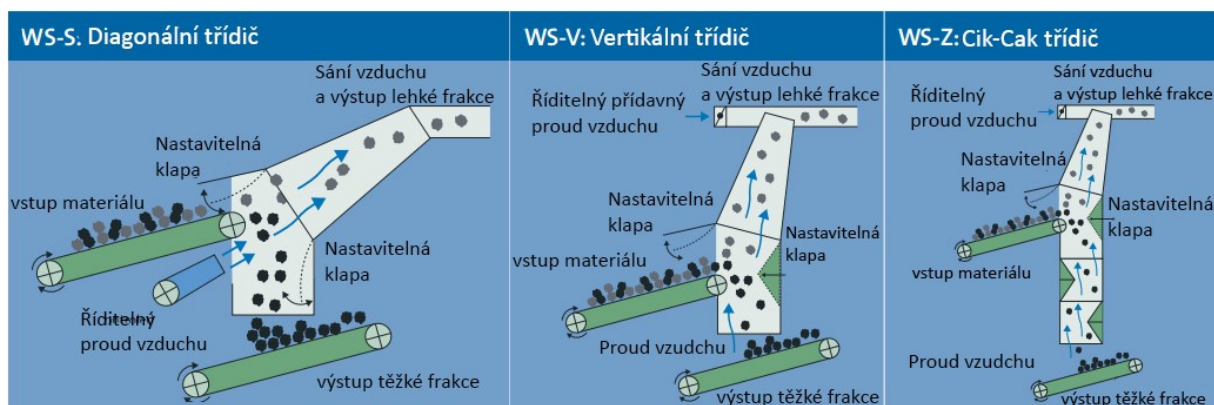
Magnetická separace se používá k zachycení magnetických materiálů. K tomu slouží buďto elektromagnet, nebo magnet permanentní. Magnetické separátory se mohou konstrukčně lišit, nejčastěji se využívá magnetického válce na konci pásového dopravníku (Obr. č. 3.3) a nebo samostatný pásový dopravník s magnetickou plošinou (Obr. č. 3.3), který je umístěn nad dopravník s materiálem a to buď napříč nebo podélně. Existuje velká škála separátorů s rozličnými výkony a rozměry, sílu magnetu je nutno navrhnout s ohledem na výšku vrstvy dopravovaného materiálu. V praxi se také využívají magnetické separátory mobilní.



Obr.č. 3.3. *Separátor s magnetickým válcem a separátor se závěsným magnetem [3]*

3.3 Fluidní separace

Fluidní separace (Obr. č. 3.4) využívá rozdílné měrné hmotnosti jednotlivých materiálů. Proud vzduchu generovaný ventilátorem nadnese materiály s nižší měrnou hmotností a naopak materiály s vyšší měrnou hmotností propustí. Některé separátory tohoto typu dosahují výkonu až 100 tun za hodinu, efektivita separace je až 99% v závislosti na povaze separovaného materiálu. Další výhodou je pak nízká náročnost na údržbu. Tato separace se nejčastěji používá v zemědělství.



Obr.č. 3.4. Fluidní separátory [1]

3.4 Vodní separace

Vodní separace (Sink-Float) je založena na rozdílné hustotě materiálů. Materiály s nižší hustotou než je hustota vody, jako například dřevo, zůstanou na hladině, kde jsou proudem unášeny pryč ze separátoru. Hustější materiály se potopí na dno. Dopravní kapacita daného typu separátorů je až 4 tuny za hodinu. Nevýhodou je nutnost vypouštění nádrže z důvodu čištění. Některé varianty těchto separátorů ovšem mají zabudovaný systém odvodu materiálu, který se usazuje na dně nádrže. Další nevýhodou je smáčení dřeva, což je v případě, že je dřevo určeno k okamžitému dalšímu zpracování energeticky nevýhodné.



Obr.č. 3.5. Sink-Float separátor [11]

4 Požadavkový list

Obecné parametry:

System separace je zařazen do technologické linky před systém sušení a třídění velikosti převáděného materiálu dřevní štěpky. Před uvažovanou separací jsou situovány pouze pásové nebo vibrační dopravníky a zásobník převáděného materiálu.

Základní parametry trasy:

- Dopravní objemový výkon trasy 12m³/h
- Provoz trasy nepřetržitý provoz*

Parametry převáděného materiálu:

- Biomasa tvořená drcenou dřevní štěpkou (skupina 2) o rozměrech 0-80mm
- Biomasa přesahující 100 mm, do 5%
- Maximální rozměr nepřesáhne 100 mm
- Obsah pilin maximálně 10%
- Obsah kůry maximálně 20%
- Průměrný obsah vody na vstupu: 50% (léto 40%, zima 60%)
- Průměrný obsah vody na výstupu sušičky: 12 – 15%
- Objemová hustota materiálu cca 210 - 300 kg/m³ (dle vlhkosti)

Účel funkce:

Separace nežádoucích materiálů z převáděného materiálu

- Kovové předměty (pásy, hřebíky apod.)
- Kamení, štěrk nebo hlína (možno propustit frakci do 5mm)

Situační požadavky:

- Zařízení musí navazovat na současnou (stanovenou) technologii dopravníků a přidružených zařízení
- Zařízení bude umístěno v zastřešené budově pod stropem (rozměrová omezení)

Ostatní:

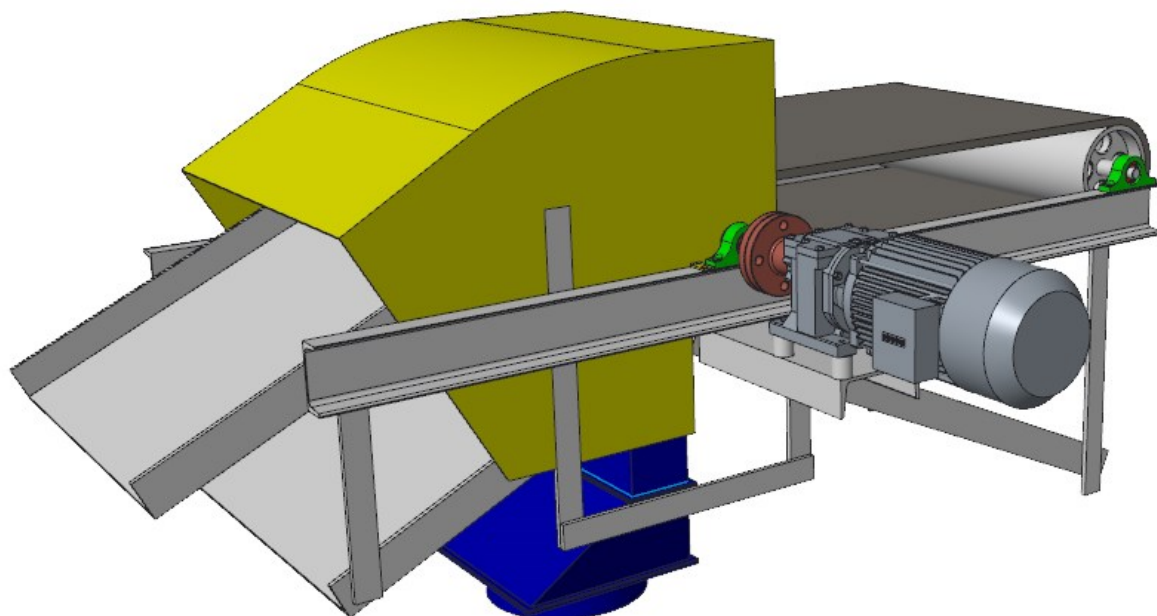
- Nízká cena
- Vysoká efektivita

* Nejsou brány v úvahu servisní, revizní a jiné zásahy do zařízení

5 Zpracování variant

5.1 Fluidní separace (varianta A)

Fluidní (větrná) separace využívá rozdílné měrné hmotnosti jednotlivých materiálů. Proud vzduchu generovaný ventilátorem nadnese materiály s nižší měrnou hmotností a naopak materiály s vyšší měrnou hmotností propustí.

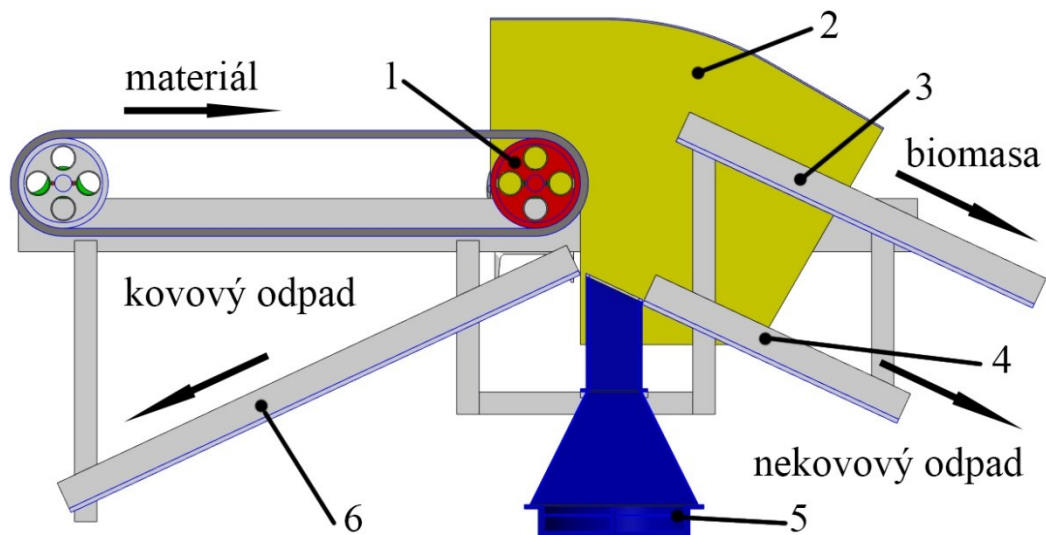


Obr.č. 5.1. *Větrný třídič*

5.1.1 Popis zařízení a jeho funkce

Materiál je dopravován na pásový dopravník. Daný dopravník je na straně konstrukce separátoru osazen magnetickým válcem, který zachytí železný materiál a ten je následně unašečem odsouván z dosahu magnetu a skluzem vyveden pryč ze separátoru. Neželezný materiál je vrhán dopravníkem stanovenou trajektorií a současně nadnášen proudem vzduchu, která je generován ventilátorem. Na základě měrné hmotnosti je tento materiál buďto nadnesen na vrchní skluz nebo propadne na skluz spodní. Těmito skluzy je poté materiál odveden pryč.

Celá konstrukce je uchycena k U profilu, který se hodí k upevnění separátoru pod strop haly dle výchozích požadavků.



Obr.č. 5.2. popis větrného třídiče

1 - pásový dopravník s magnetickým bubnem

2 - plechový kryt

3 - skluz pro odvod štěpky

4 - skluz pro odvod nežádoucího materiálu

5 - ventilátor

6 - skluz pro odvod železného materiálu

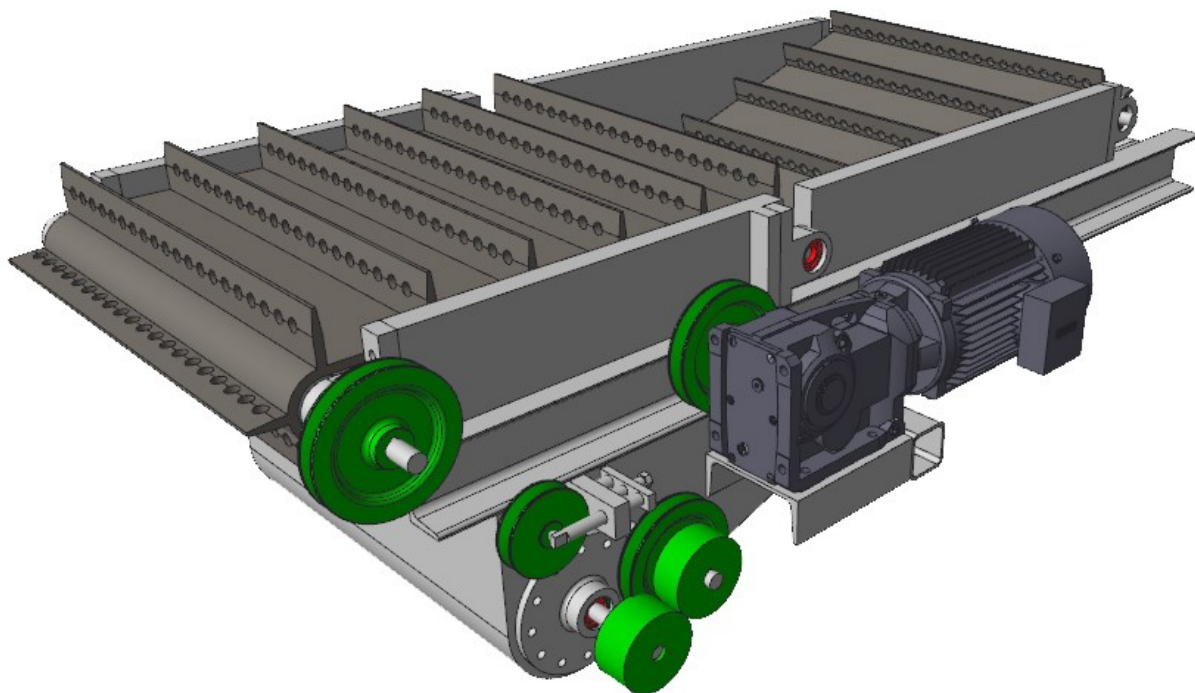
5.1.2 Výhody a nevýhody

výhodami této varianty jsou: - jednoduchost konstrukce
- oddělení železných materiálů

nevýhodami pak jsou: - omezená spolehlivost separace
- rozptylování prachových částic

5.2 Sink-float separace (varianta B)

Vodní separace (Sink-Float) je založena na rozdílné hustotě materiálů. Převáděné materiály s nižší hustotou než je hustota vody, jako například dřevo, zůstanou na hladině, kde jsou dopravníkem unášeny pryč ze separátoru.



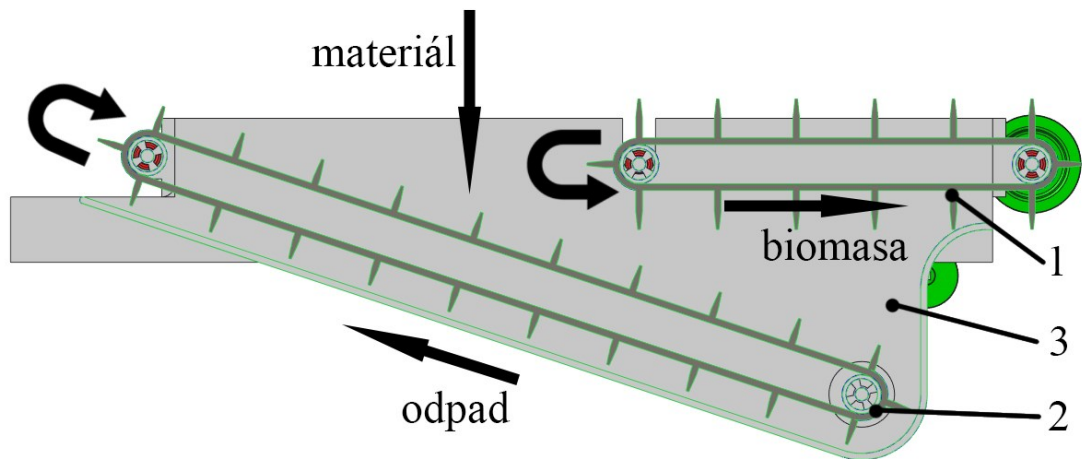
Obr.č. 5.3. *sink-float separátor*

5.2.1 Popis zařízení a jeho funkce

Materiál je sypán do nádrže na dopravník č.2, který jej dále převádí k vodní hladině, kde dřevo vyplave a je dále unášeno dopravníkem č.1 pryč ze separátoru. Neplovoucí materiál pokračuje v cestě a dále je smýkán po dně nádrže ven.

Oba pásy jsou poháněny jedním elektromotorem přes řemen. K otočení smyslu otáček u druhého pásu je použit ozubený převod. Separátor splňuje daná rozměrová omezení. K upevnění motoru s převodovkou a několika dalších částí je stejně jako u varianty A použit U profil, který se hodí k upevnění separátoru pod strop haly dle zadání.

Toto zařízení je možné zkombinovat s dopravníkem s magnetickým bubnem pro separaci železných materiálů.



Obr.č. 5.4. popis sink-float separátoru

1 - dopravník č.1 pro odvod dřevní štěrky

2 - dopravník č.2 pro odvod neplovoucího materiálu

3 - nádrž s vodou

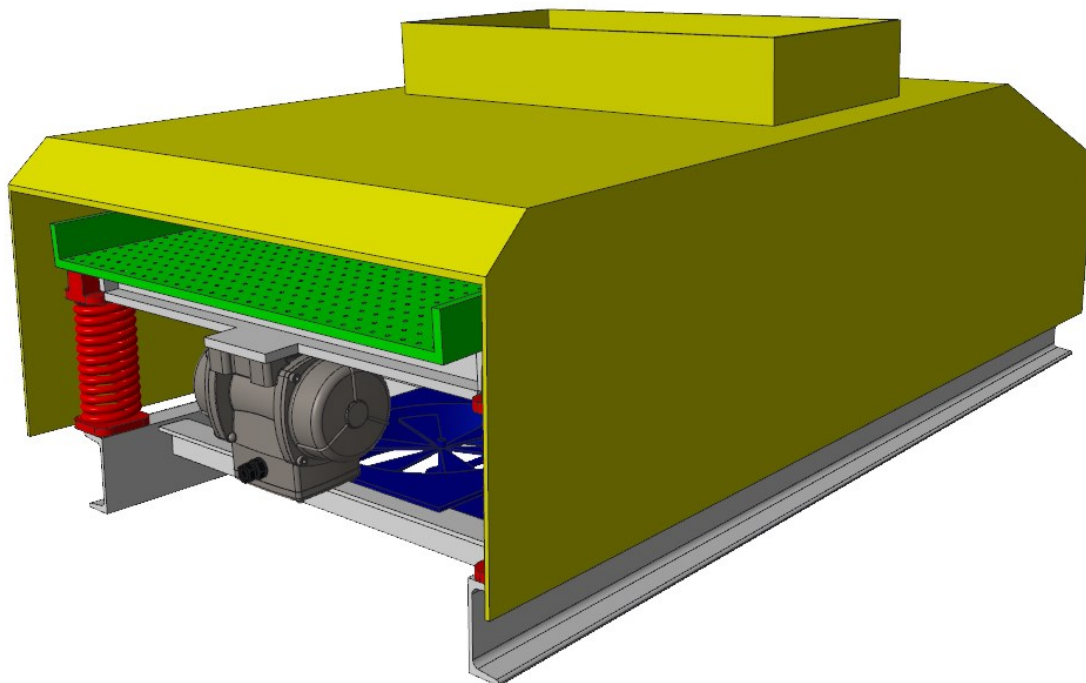
5.2.2 Výhody a nevýhody

výhodami této varianty jsou: - spolehlivost separace

nevýhodami pak jsou: - smáčení dřeva (dodávaná dřevní štěrka obsahuje až 60% vody; počítá se s mezioperačním sušením a skladováním)
 - složitost konstrukce
 - oproti variantě A větší nároky na údržbu

5.3 Separace s vibračním dopravníkem

Princip zařízení je podobný jako u vibračních dopravníků kde se využívá tzv. mikrovrhu. Zrna na vibrační desce se pohybují zároveň s ní až do chvíle, kdy deska začne zpomalovat a měnit směr. Zrna se od desky oddělí a pokračují letem a dopadají na pracovní desku posunutou o určitou vzdálenost. Celý děj se opakuje.



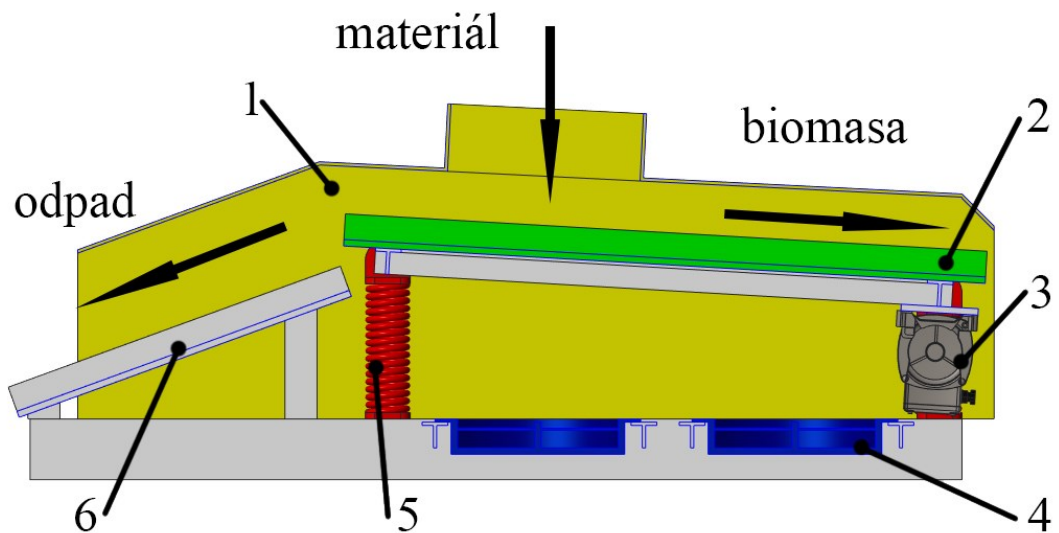
Obr.č. 5.5. *Vibrační separátor*

5.3.1 Popis zařízení a jeho funkce

Sypaný materiál dopadá na děrovanou vibrační desku, kde je vibracemi dopravován na vyvýšenou stranu dopravníku. Lehký materiál je nadnášen proudem vzduchu, generovaným ventilátory a tudíž není unášen vibracemi, nýbrž klouže po desce na druhou stranu.

Deska je rozvibrována průmyslovým elektrickým vibrátorem, který je upevněn zespod na T profilu s navařeným plechem. Deska s vibrátorem a vyztužením je připevněna k pružinám, které jsou dále připevněny k U profilům. Na těchto profilech jsou také připevněny ventilátory a skluz. Celé zařízení je zakrytováno pro minimalizaci víření prachu do okolí.

Tato varianta se opět dá kombinovat s pásovým dopravníkem s magnetickým válcem pro separaci železa a stejně jako u předchozích variant je brán v potaz požadavek na upevnění pod strop haly.



Obr.č. 5.6. Popis vibračního separátoru

- 1 - Kryt separátoru
- 2 - Děrovaná deska
- 3 - Vibrátor
- 4 - Ventilátor
- 5 - Pružina
- 6 - Skluz pro nežádoucí materiál

5.3.2 Výhody a nevýhody

výhodami této varianty jsou: - vyšší spolehlivost separace

nevýhodami pak jsou : - vibrace
- víření prachu

6 Hodnotová analýza

6.1 Kritéria hodnotové analýzy a hodnocení variant

označení	kriterium	popis
k1	výrobní náklady	odhad ceny jednotlivých součástí a zpracování polotovarů [Kč]
k2	hmotnost	celková hmotnost [kg]
k3	spolehlivost separace	schopnost separátoru oddělit štěpku od veškerého nežádoucího materiálu
k4	údržba	náklady spojené s údržbou, frekvence a složitost údržby
k5	provozní náklady	náklady na provoz (elektrická energie aj.) *
k6	počet součástí	celkový počet komponentů (bez spojovacího materiálu)
k7	negativní vlivy	prašnost, hluk, vibrace

Tabulka 6.1: Kritéria

* předběžný odhad energetické náročnosti a výkonu pohonů jednotlivých variant

označení	varianta A		varianta B		varianta C	
k1	0	5	0	3	2000	5
k2	245 kg	5	403 kg	3	240 kg	5
k3	méně spolehlivé	4	spolehlivá separace	6	méně spolehlivé	4
k4	nízké	6	vyšší	3	nízké	5
k5	elektromotor, 1 ventilátor	6	elektromotor, čerpadlo	5	vibrátor, 2x ventilátor	5
k6	28	5	39	3	29	5
k7	prašnost	4	smáčení dřeva	3	prašnost, vibrace	3

Tabulka 6.1: Hodnocení kritérií

rozdělení hodnot a významnosti

hodnota	popis
6	vysoká úroveň
5	dobrá úroveň
4	průměrná úroveň
3	nízká úroveň
2	nevyhovující úroveň
1	nepříznivý stav

Významnost	
2	nejvyšší
...	...
1	nejnižší

Tabulka 6.3: Popis hodnot a významnost kritérií

6.2 Volba významnosti kritérií

Porovnávané páry kritérií						počet voleb	pořadí	váha významnosti
k1	k1	k1	k1	k1	k1	5	1	1,91
k2	k3	k4	k5	k6	k7	-		
	k2	k2	k2	k2	k2	3	4	1,55
	k3	k4	k5	k6	k7	-		
		k3	k3	k3	k3	4,5	2	1,82
		k4	k5	k6	k7	-		
			k4	k4	k4	3,5	3	1,64
			k5	k6	k7	-		
				k5	k5	3	5	1,55
				k6	k7	-		
					k6	2	6	1,36
					k7	0	7	1,00

Tabulka 6.4: Volba významnosti

6.3 Výsledek hodnotové analýzy

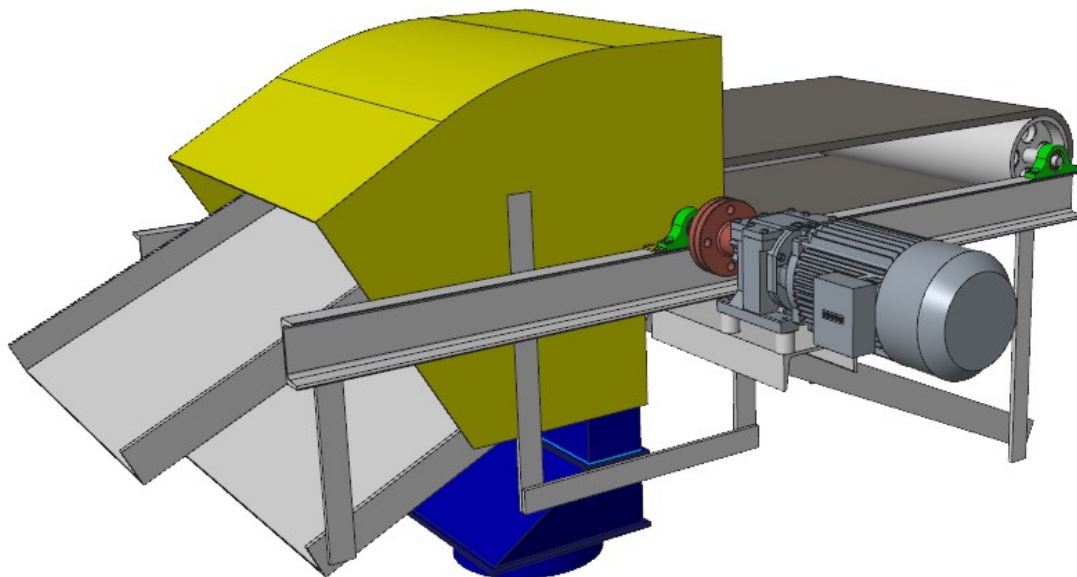
#	kritérium	významnost kritéria (váha významnosti)	#	varianta 1	varianta 2	varianta 3
1	náklady na výrobu	2,00	1	10,00	6,00	10,00
2	hmotnost	1,55	2	7,73	4,64	7,73
3	spolehlivost separace	1,82	3	7,27	10,91	7,27
4	údržba	1,64	4	9,82	4,91	8,18
5	provozní náklady	1,45	5	8,73	7,27	7,27
6	počet součástí	1,36	6	6,80	4,08	6,80
7	ovlivnění prostředí	1,00	7	4,00	3,00	3,00
			Σ	54,35	40,81	50,25

Tabulka 6.5: Výsledek hodnotové analýzy provedené autorem

#	kritérium	významnost kritéria (váha významnosti)	#	varianta 1	varianta 2	varianta 3
1	náklady na výrobu	1,70	1	8,50	5,10	8,50
2	hmotnost	1,20	2	6,00	3,60	6,00
3	spolehlivost separace	2,00	3	8,00	12,00	8,00
4	údržba	1,90	4	11,40	5,70	9,50
5	provozní náklady	1,90	5	11,40	9,50	9,50
6	počet součástí	1,50	6	7,50	4,50	7,50
7	ovlivnění prostředí	1,00	7	4,00	3,00	3,00
			Σ	56,80	43,40	52,00

Tabulka 6.6: Výsledek hodnotové analýzy provedené vedoucím práce

Jako optimální varianta se jeví varianta A - Větrný třídič. Tato varianta bude dále rozvíjena.



Obr.č. 6.1. *Zvolená varianta A*

Tuto variantu je nutné upravit s ohledem na několik aspektů:

- parametry pásového dopravníku
- zvážit použití magnetického válce
- eliminace šíření prachu mimo konstrukci
- dodržení situačních požadavků
- odvod materiálu
- konečná pozice ventilátoru vzhledem k možnému poškození převáděným materiálem
- rozměrová optimalizace návrhu dle základních výpočtů dílčích parametrů

7 Návrh pásového dopravníku

7.1 Výpočet pásového dopravníku

7.1.1 Výchozí parametry

délka tratě = 1,5 m

sypaná hmotnost materiálu $\rho_s = 250 \text{ Kg} \cdot \text{m}^3$

dynamický sypaný úhel $\Psi_d = 23^\circ$

doprovované množství $Q = 3 \text{ t} \cdot \text{hod}^{-1}$

7.1.2 Volba rychlosti pásu

Rychlost pásu byla volena s ohledem na potřebnou dopravní kapacitu, přičemž se vycházelo z běžně volených rychlostí.

$$v = 1,25 \text{ [m}^2\text{]} \quad (1)$$

7.1.3 Požadovaný průřez náplně pásu

$$S_p = \frac{Q}{3,6 \cdot v \cdot \rho_s \cdot k_\varphi} \quad (2)$$

$$S_p = \frac{3}{3,6 \cdot 1,25 \cdot 250 \cdot 0,8}$$

$$S_p = 0,0033 \text{ m}^2$$

k_φ - součinitel plnění pásu; $k_\varphi \in < 0,7; 0,9 >$ [13]

7.1.4 Volba šířky pásu a výpočet náplně pásu

Šířka byla volena z běžných rozměrů dodávaného sortimentu[13].

$$B = 0,5 \text{ [m]}$$

Pro jednoválečkový dopravník platí:

$$S = \frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot \text{tg}(\psi_d) \quad (3)$$

$$S = \frac{1}{6} \cdot 0,4^2 \cdot \text{tg}(23)$$

$$S = 0,0113 \text{ m}^2$$

ψ_d - dynamický sypaný úhel

7.1.5 Provedení porovnání S a S_p

Požadovaná plocha průřezu (2) dopravovaným materiálem musí být menší nebo rovna ploše skutečné (3):

$$S \geq S_p \quad (4)$$

$$0,0033 \geq 0,0113$$

Podmínka je splněna

7.1.6 Obvodová síla na poháněcím bubnu

$$F = F_1 + F_2 + F_p \quad (5)$$

$$F = 9,224 + 0 + 1178,643$$

$$F = 682,230 \text{ N}$$

Výpočet síly potřebné pro překonání pohybových odporů dopravníku

$$F_1 = w \cdot L \cdot g [(2 \cdot m_p + q) \cdot \cos(\varepsilon) + m_v] \quad (6)$$

$$F_1 = 0,02 \cdot 1500 \cdot 9,81 [(2 \cdot 4,48 + 1,042) \cdot \cos(0) + 28]$$

$$F_1 = 11,183 \text{ N}$$

Pro kratší dopravníky $L < 80 \text{ [m]}$ platí:

$$w = f \quad (7)$$

$$w = 0,02$$

f - globální součinitel; $f = \langle 0,016; 0,03 \rangle$ [13]

Výpočet měrné hmotnosti dopravovaného materiálu

$$q = \frac{Q}{3,6 \cdot v} \quad (8)$$

$$q = \frac{3}{3,6 \cdot 1,25}$$

$$q = 1,042 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

Q - hmotnostní průtok materiálu

Výpočet měrné hmotnosti rotujících částí válečků

$$m_v = \frac{n_{vh} \cdot m_{vh}}{t_1} + \frac{n_{vd} \cdot m_{vd}}{t_2} \quad (9)$$

$$m_v = \frac{2 \cdot 4,2}{0,5} + \frac{2 \cdot 4,2}{0,75}$$

$$m_v = 28 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

n_{vh} - počet válečků horní větve

m_{vh} - hmotnost rotujících částí jednoho válečku horní větve

n_{vd} - počet válečků dolní větve

m_{vd} - hmotnost rotujících částí jednoho válečku dolní větve

Výpočet vedlejších a přídavných odporů

$$F_p = F_{N1} + F_{n2} + n_B \cdot F_B + n_c \cdot F_c + F_{BV} \quad (10)$$

$$F_p = 1,628 + 0 + 1 \cdot 500 + 1 \cdot 150 + 19,419$$

$$F_p = 682,23 \text{ N}$$

$$F_{n1} = q \cdot v \cdot (v - v_0) \quad (11)$$

$$F_{n1} = 1,042 \cdot 1,25 \cdot (1,25 - 0)$$

$$F_{n1} = 1,628 \text{ N}$$

q - měrná hmotnost dopravovaného materiálu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$]

$$F_{n2} = \frac{\mu_B \cdot q^2 \cdot g \cdot l_N}{\rho_S \cdot b_1^2} \text{ [N]} \quad (12)$$

$$F_{n2} = \frac{0,3 \cdot 1,042^2 \cdot 9,81 \cdot 0}{250 \cdot 0,031^2} \text{ [N]}$$

$$F_{n2} = 0 \text{ [N]}$$

μ_B součinitel tření mezi materiálem a bočním vedením; $\mu_B = 0,3$ [17]

Délka pásu potřebná pro urychlení materiálu na požadovanou rychlost.

$$l_{min} = \frac{v^2 - v_0^2}{2 \cdot g \cdot \mu_B} \quad (13)$$

$$l_{min} = \frac{1,25^2 - 0^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,3}$$

$$l_{min} = 0,265$$

Odpor v ohybu pásu na bubnu a v ložiskách bubnu se volí v rozmezí (500 ÷ 1500)N.

$$F_B = 500 \text{ N} \quad (14)$$

Odpor čističe pásu se volí následujícím způsobem.

$$F_C = (200 \div 400) \cdot B \quad (15)$$

$$F_C = 300 \cdot 0,5$$

$$F_C = 150 \text{ N}$$

$$F_{Bv} = \frac{\mu_B \cdot q^2 \cdot g \cdot l_{bv}}{\rho_S \cdot b_1^2} \quad (16)$$

$$F_{Bv} = \frac{0,3 \cdot 1,042^2 \cdot 9,81 \cdot 1,5}{250 \cdot 0,031}$$

$$F_{Bv} = 19,419 \text{ N}$$

7.1.7 **Potřebný provozní výkon pohonu pásového dopravníku**

$$P = \frac{F \cdot v}{10^3 \cdot \eta} [\text{kW}] \quad (17)$$

$$P = \frac{682,23 \cdot 1,25}{10^3 \cdot 0,9}$$

$$P = 0,948 \text{ kW}$$

Účinnost hnací jednotky $\eta \in \langle 0,85; 0,95 \rangle$ [13]

7.1.8 Kontrola pohonu dopravníku na rozběh

Pohon musí splňovat podmínku $M_{SM} < M_M$.

$$M_{SM} = \frac{1}{1} \cdot F \cdot 0,5 \cdot D_b \cdot \frac{1}{\eta \cdot i_p} \quad (18)$$

$$M_{SM} = \frac{1}{n_e} \cdot 682,23 \cdot 0,5 \cdot 0,24 \cdot \frac{1}{0,9 \cdot 14,476}$$

$$M_{SM} = 6,286 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$i_p = \frac{n_M}{v} \cdot \pi \cdot D_B \quad (19)$$

$$i_p = \frac{1440}{1,25} \cdot \pi \cdot 0,24$$

$$i_p = 14,476$$

$$M_M = 8,815 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Podmínka $M_{SM} < M_M$ je splněna.

n_M - otáčky motoru (příloha B)

7.1.9 Kontrola brzdy

$$M_{B1} = \frac{1}{n_B} \cdot \left[M_{DM} - (0,7 \cdot F_1 + F_2 + F_p) \cdot 0,5 \cdot D_b \cdot \frac{\eta_{max}}{i_p} \right] \cdot k_B \quad (20)$$

$$M_{B1} = \frac{1}{1} \cdot \left[0,157 - (0,7 \cdot 11,184 + 0 + 671,047) \cdot 0,5 \cdot 0,24 \cdot \frac{0,97}{14,476} \right] \cdot 1,7$$

$$M_{B1} = -9,016 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{B2} = \frac{1}{n_B} \cdot \left[-(0,7 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_p) \cdot 0,5 \cdot D_b \cdot \frac{\eta_{max}}{i_p} \right] \cdot k_B \quad (21)$$

$$M_{B2} = \frac{1}{1} \cdot \left[-(0,7 \cdot 11,184 + 0 + 671,047) \cdot 0,5 \cdot 0,24 \cdot \frac{0,97}{14,476} \right] \cdot 1,7$$

$$M_{B2} = -9,280 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{DM} = \left[\left((q + 2 \cdot m_p + m_v) \cdot L \cdot 0,5 \cdot D_b \cdot \frac{1}{\eta \cdot i_p} + \right) + \frac{\Sigma J_b}{D_b} \cdot \frac{1}{\eta \cdot i_p} + \frac{2 \cdot (J_s + J_M)}{D_b \cdot \eta} \right] \cdot \frac{v}{t_b} \quad (11)$$

$$M_{DM} = \left[\left((1,042 + 2 \cdot 4,48 + 28) \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,24 \cdot \frac{1}{0,9 \cdot 14,476} + \right) + \frac{0,090}{0,24} \cdot \frac{1}{0,9 \cdot 14,476} + \frac{2 \cdot (0,00031 + 0,005)}{0,240 \cdot 0,9} \right] \cdot \frac{1,25}{5}$$

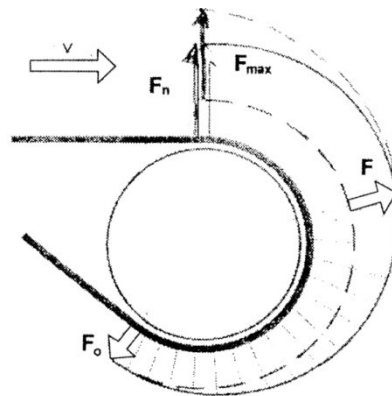
$$M_{DM} = 0,155 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$|M_{B1}| \leq M_B \wedge |M_{B2}| \leq M_B \quad (23)$$

$$9,016 \leq 16 \wedge 9,280 \leq 16$$

Podmínka je splněna.

7.1.10 Tahy dopravního pásu



Obr.č. 7.1. Průběh tahových sil v dopravním pásu [13]

$$F_{max} = F \cdot \psi \quad (24)$$

$$F_{max} = 682,230 \cdot 1,5$$

$$F_{max} = 1\,023,345$$

ψ - součinitel rozběhu pásového dopravníku <1,3; 2> [18]

$$F_o = \frac{F_{max}}{e^{\mu \cdot \alpha_G - 1}} \quad (25)$$

$$F_o = \frac{1\,023,345}{e^{0,65 \cdot 3,391 - 1}}$$

$$F_o = 126,926 \text{ N}$$

7.1.11 Velikost napínací síly

$$F_Z \geq 2 \cdot (F_O - \sin(\varepsilon) \cdot m_p \cdot g \cdot H) \cdot L \quad (26)$$

$$F_Z \geq 2 \cdot (126,926 - \sin(0) \cdot 4,48 \cdot 9,81 \cdot 0) \cdot 1,5$$

$$F_Z \geq 380,777 \text{ N}$$

7.1.12 Skutečné tahy v dopravním pásu

$$F_{OS} = \frac{1}{2} \cdot F_Z \pm m_p \cdot g \cdot L \cdot \sin(\varepsilon) \quad (27)$$

$$F_{OS} = \frac{1}{2} \cdot 380,777 + 4,48 \cdot 9,81 \cdot 1,5 \cdot \sin(0)$$

$$F_{OS} = 190,389 \text{ N}$$

$$F_{OS} = \frac{1}{2} \cdot F_Z + F + m_p \cdot g \cdot L \cdot \sin(\varepsilon) \quad (28)$$

$$F_{OS} = \frac{1}{2} \cdot F_Z + 682,230 + 4,48 \cdot 9,81 \cdot 1,5 \cdot \sin(0)$$

$$F_{OS} = 872,619 \text{ N}$$

7.1.13 Kontrola měrného tlaku mezi dopravním pásem a bubnem

$$p = \frac{F_{ns} + F_{OS}}{D_b \cdot B} \cdot 10^{-6} \quad (29)$$

$$p = \frac{872,619 + 190,389}{0,24 \cdot 0,5} \cdot 10^{-6}$$

$$p = 0,0089 \text{ MPa}$$

$$p_{dov} = 0,15 \text{ [MPa]} \text{ [13]}$$

$$p < p_{dov}$$

$$0,0089 < 0,15$$

Podmínka splněna.

7.1.14 Kontrola dopravního pásu

$$F_{dov} = \sigma_{dov} \cdot B \geq T_{max} \text{ [N]} \quad (30)$$

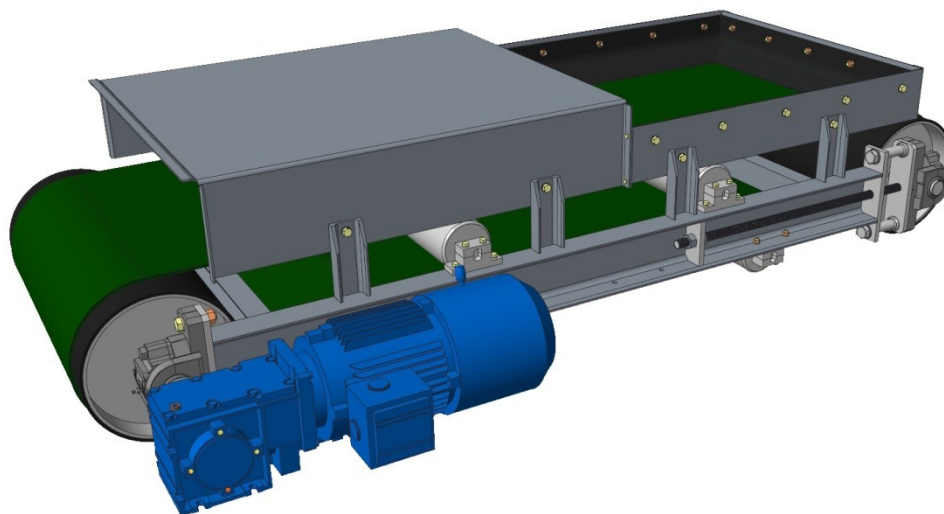
$$F_{dov} = 250\,000 \cdot 0,5 \geq 872,619 \text{ [N]}$$

$$F_{dov} = 125\,000 \geq 872,619 \text{ [N]}$$

Podmínka splněna.

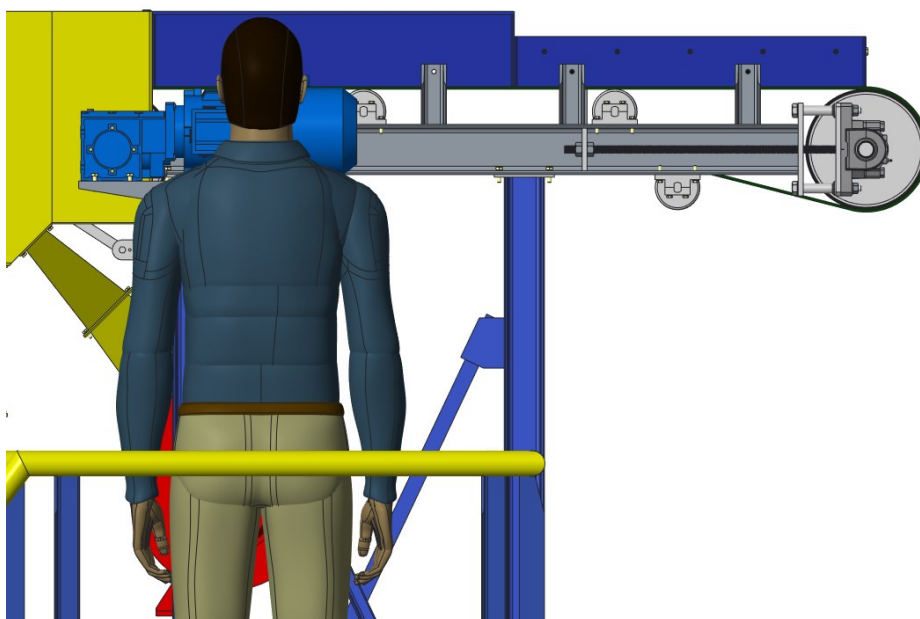
7.2 Konstrukční návrh pásového dopravníku

Pásový dopravník je prvním zařízením separátoru. Celá konstrukce má základ ve dvou U profilech, na které jsou upevněny ložiskové domky, upínací domky dopravníkových válečků a také jsou zde přivařeny frézované U profily, které slouží k připevnění krytu viz Obr.č. 7.2..



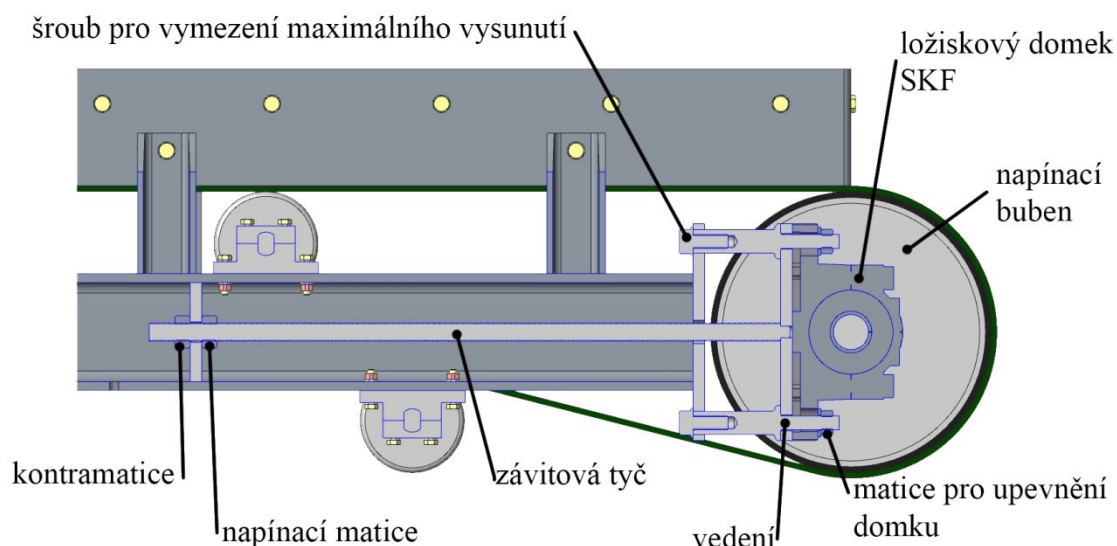
Obr.č. 7.2. *Pásový dopravník*

Hnací a hnaný buben od firmy GTK je uložen v ložiskových domcích SKF (příloha A). Hnaný buben je zároveň bubnem napínacím. Napínání je realizováno pomocí závitové tyče se samosvorným závitem dlouhé 540 mm, z důvodu vysunutí dopravníku ven z ochozu viz Obr. č. 7.3.



Obr.č. 7.3. *Vysunutí pásového dopravníku*

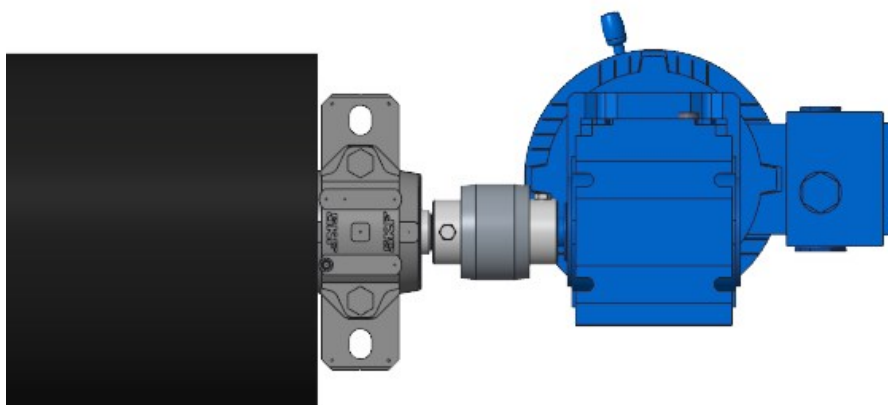
K posouvání závitové tyče slouží dvě matice opírající se o plech přivařený k U profilu. Jako lineární vedení je použit obrobek se závitem, který zároveň slouží k upevnění ložiskového domku (Obr. č. 7.4). Maximální vysunutí mechanismu je 65 mm.



Obr.č. 7.4. *Napínací mechanismus*

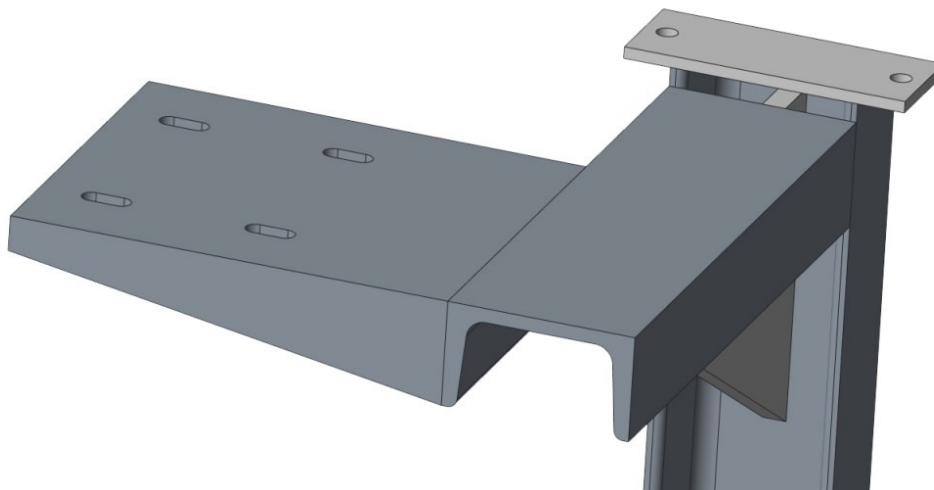
V místě přísunu materiálu je dopravník vybaven plastovým usměrňovačem materiálu, který je přišroubován k plechovému krytu. Tento kryt je připevněn k dopravníku pomocí šroubů. Celý plechový kryt je pak na straně výstupu připraven na připevnění k větrnému třídiči.

Hnací ústrojí se skládá z převodovky a motoru SIEMENS (příloha B), který je vybaven brzdou s elektrickým i ručním řízením. Propojení hnacího bubnu a hřídele převodovky (Obr.č. 7.5) je zajištěno spojkou BoWex firmy KTR (příloha C).



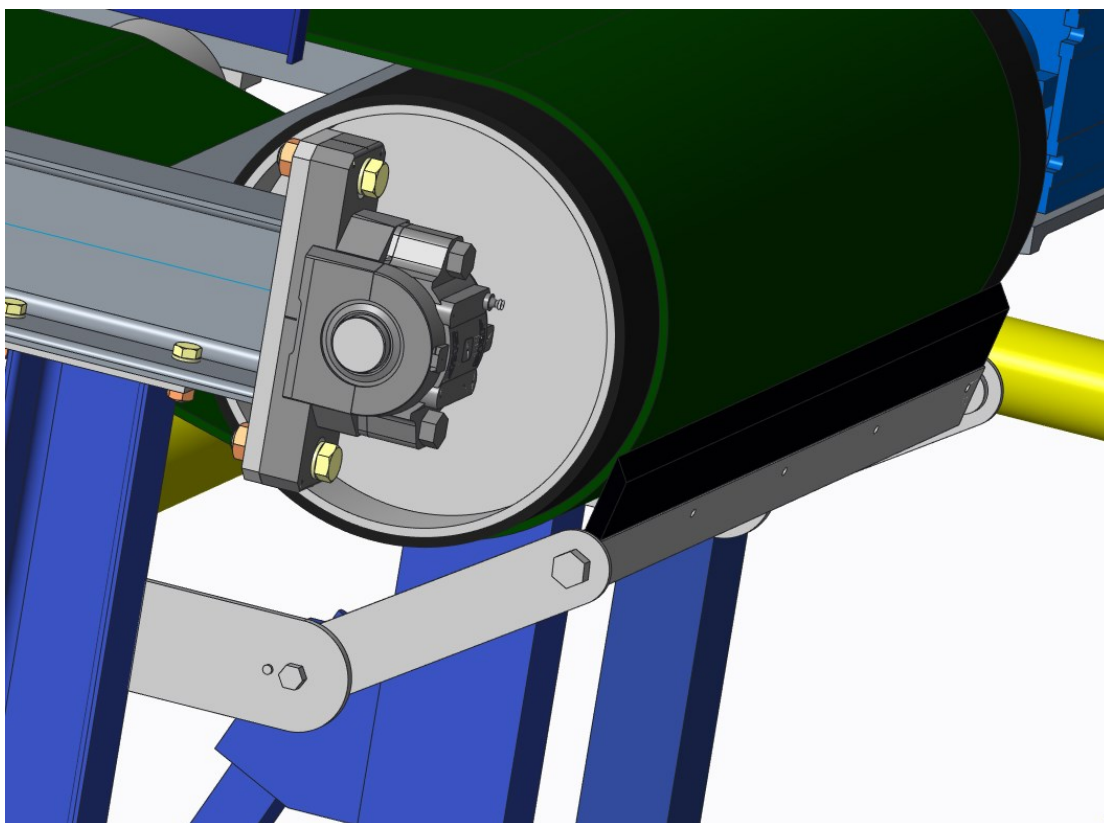
Obr.č. 7.5. *Hnací ústrojí*

Upevnění motoru je realizováno svařencem z U profilů, které jsou podepřeny žebrem. Díry pro šrouby jsou oválné, aby umožnili přesné ustavení motoru dle parametrů vybrané spojky BoWeX.



Obr.č. 7.6. Svařenec pro ustavení motoru

Stěrač pásu je připevněn k plechu, který je navařen na nosnou konstrukci pásového dopravníku (Obr. 7.7). Nestandardní řešení stěrače bylo zvoleno z důvodu omezeného prostoru kolem hnacího bubnu, který je zapříčiněn zasunutím dopravníku do třídiče.



Obr.č. 7.7. Stěrač pásu

Kontrolní výpočty dopravníku

Z hlediska namáhání je vhodné zkontrolovat závitovou tyč na vzpěr, důvodem je zejména vlastní délka tyče.

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{(\mu_z \cdot l)^2} \quad (31)$$

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot 210\,000 \cdot 1\,652,776}{(0,7 \cdot 505)^2}$$

$$F_{kr} = 27\,413 \text{ N}$$

$$E = 210 \text{ GPa [12]}$$

$$\mu_z \text{ koeficient zatížení; } \mu_z = 0,7 \text{ [19]}$$

Pro kvadratický moment plochy kruhového průřezu platí.

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \quad (32)$$

$$J = \frac{\pi \cdot 13,546^4}{64}$$

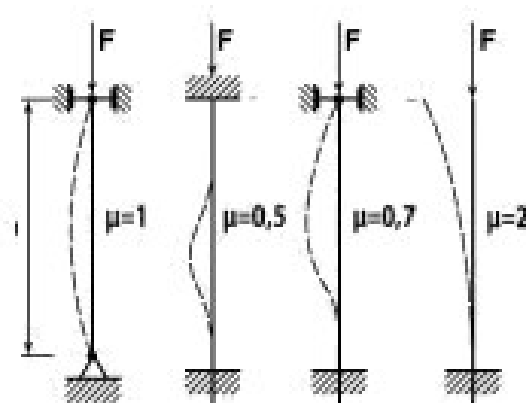
$$J = 1\,652,776$$

$$F_z < F_{kr} \quad (33)$$

$$380,77 \text{ N} \ll 27\,413 \text{ N}$$

Podmínka je splněna.

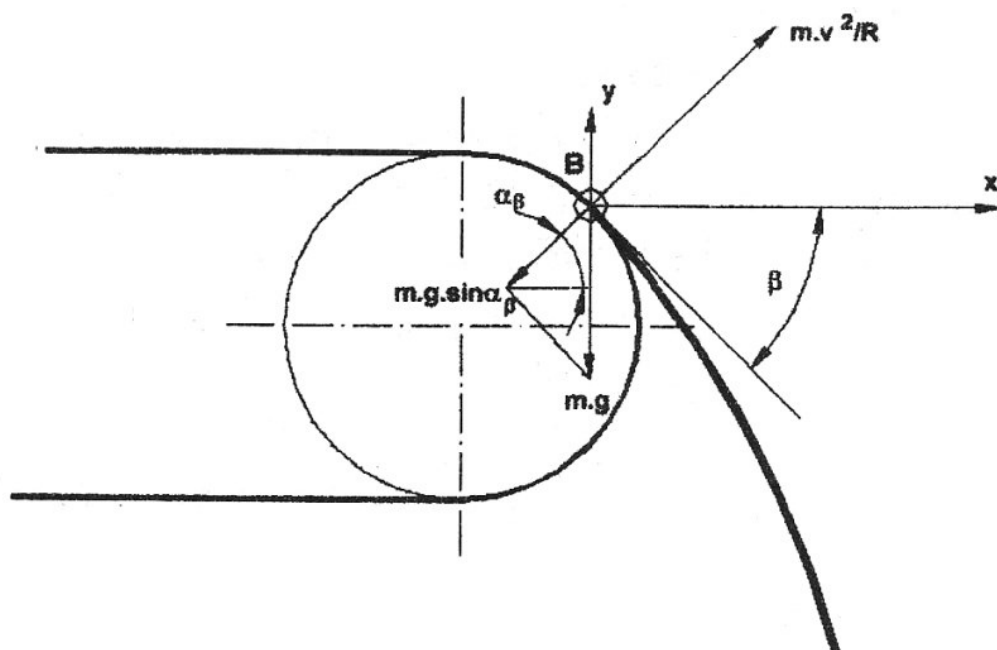
Kritická síla je menší než napínací síla, proto k deformaci nedojde.



Obr.č. 7.8. Vzpěr

7.3 Určení vrhové paraboly

Rovnici vrhové paraboly lze odvodit z obr.č. 7.9. Pro zjednodušení výpočtu je zanedbáno tření mezi pásem a materiálem.



Obr.č. 7.9. Vrhová parabola [13]

V bodě B se přepravovaný materiál odpoutá od pásu a platí rovnost odstředivé síly působící na materiál a dostředivé složky tíhy materiálu.

$$\frac{m \cdot v^2}{R} = m \cdot g \cdot \sin \alpha_B \quad (34)$$

Z předchozího vztahu je patrné, že úhel alfa je závislý na poloměru bubnu a dopravní rychlosti. Při výpočtu úhlu vychází hodnota nedefinovaná pro funkci sinus. Z toho vyplývá, že při zvolené rychlosti $v = 1,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a poloměru bubnu $R = 0,12 \text{ m}$, se materiál odpoutá ihned, a proto je úhel alfa roven 90° .

$$\alpha_B = 90^\circ \quad (35)$$

Úhel tečny vrhové paraboly pak lze vyjádřit takto.

$$\beta = 90^\circ - \alpha_B \quad (36)$$

Pohyb se rozepíše v parametrickém tvaru do dvou os.

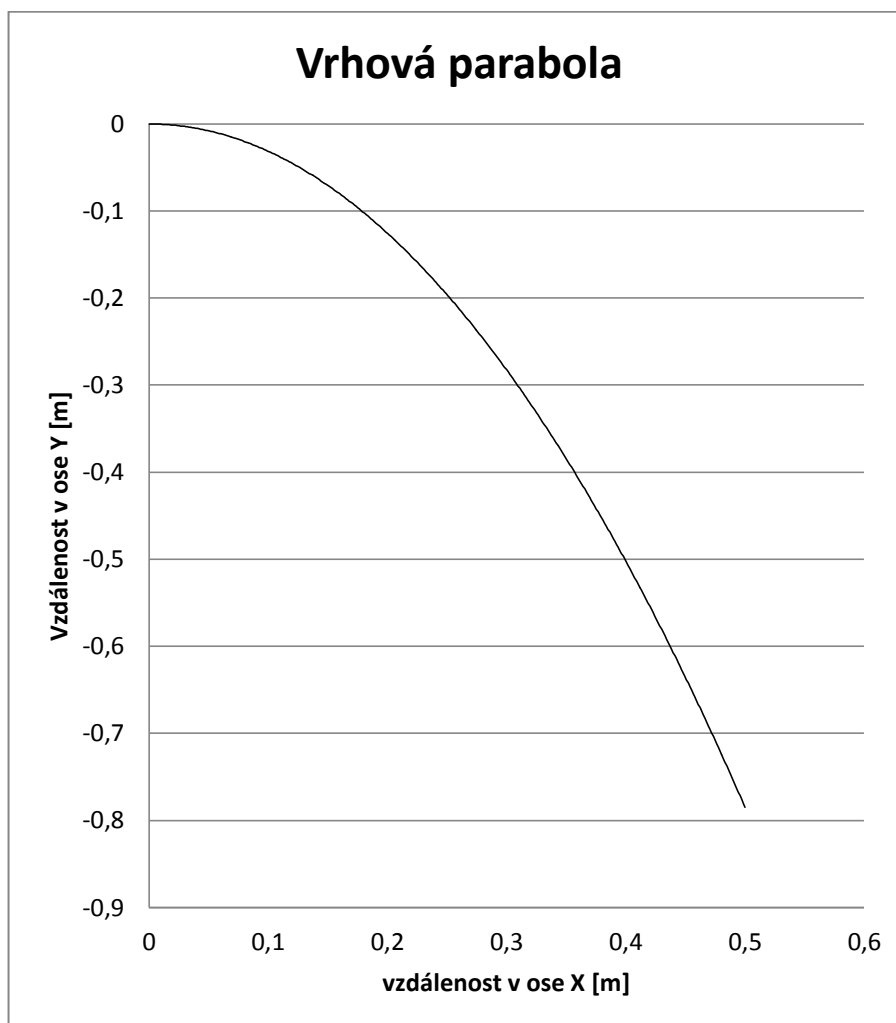
$$x = v \cdot \cos \beta \cdot t \quad (37)$$

$$y = v \cdot \sin \beta \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2} \quad (38)$$

Po dosazení a úpravě rovnice dostaneme rovnici paraboly.

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \beta + \frac{g \cdot x^2}{2 \cdot v^2} \cdot (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) \quad (39)$$

Tato rovnice byla použita k vykreslení vrhové paraboly.



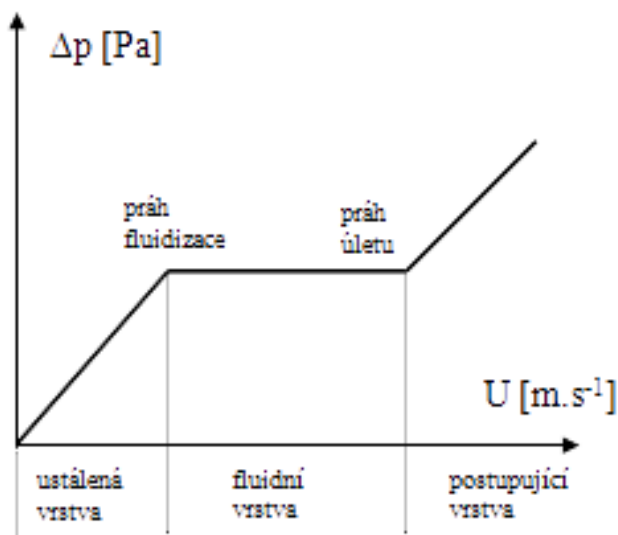
Graf 7.1: Graf vrhové paraboly

Vrhová parabola byla vykreslena pomocí program Microsoft Excel a byla dále využita pro návrh svodu odpadu větrného třídiče.

8 Návrh větrného třídiče

8.1 Vznos materiálu

Při vznosu dochází k překonávání gravitačních sil působících na sypký materiál proudem vzduchu. Při zvyšování rychlosti vzduchu se částice dostávají z ustáleného stavu do pohybu.



Obr.č. 8.1. Průběh vznosu

Při výpočtu vznosu v této aplikaci bylo postupováno tak, že byly určeny hustoty možných materiálu ve směsi.

materiál	Hustota [$kg \cdot m^{-3}$]
Dřevo	500
Ocel	7 823
Kámen (křemen)	2 600
Štěrk	2000

Tabulka 8.1: Kritéria a hodnocení

Pro tyto hodnoty byl proveden výpočet vznosu částic o velikosti 5, 20, 40, 60, 80 a 100 mm.

K výpočtu je potřeba určit mezerovitost materiálu, k tomu poslouží hodnota objemové hustoty materiálu z požadavkového listu.

$$\varepsilon_m = 1 - \frac{\rho_s}{\rho_D} \quad (40)$$

$$\varepsilon_m = 1 - \frac{250}{500}$$

$$\varepsilon_m = 0,5$$

ρ_s - sypná hmotnost dopravovaného materiálu

ρ_D - hustota dřeva

Pro částice obecného tvaru se dále musí do výpočtu rychlosti proudu vzduchu zahrnout tvarový součinitel.

$$\delta_{t100} = \sqrt[3]{\frac{36 \cdot \pi \cdot V_p^2}{S_p^3}} \quad (41)$$

$$\delta_{t100} = \sqrt[3]{\frac{36 \cdot \pi \cdot (5,4729 \cdot 10^5)^2}{0,01018^3}}$$

$$\delta_{t100} = 0,695$$

V_p - objem pevné částice

S_p - obsah pevné částice

Hodnoty objemu a obsahu částic byly určeny pomocí software Creo Parametric 3.0, kde byly přibližně vymodelovány tvary štěpky o různé velikosti dle vzorků štěpky a hodnoty byly zprůměrovány. V případě kamene a šterku bylo postupováno obdobným způsobem. Naměřené hodnoty byly zprůměrovány a dosazeny do výpočtu (42).



Obr.č. 8.2. *Vzorky štěpky*

Průměrná hodnota tvarového součinitele se dále dosadí do výpočtu minimální rychlosti proudu vzduchu pro vznos.

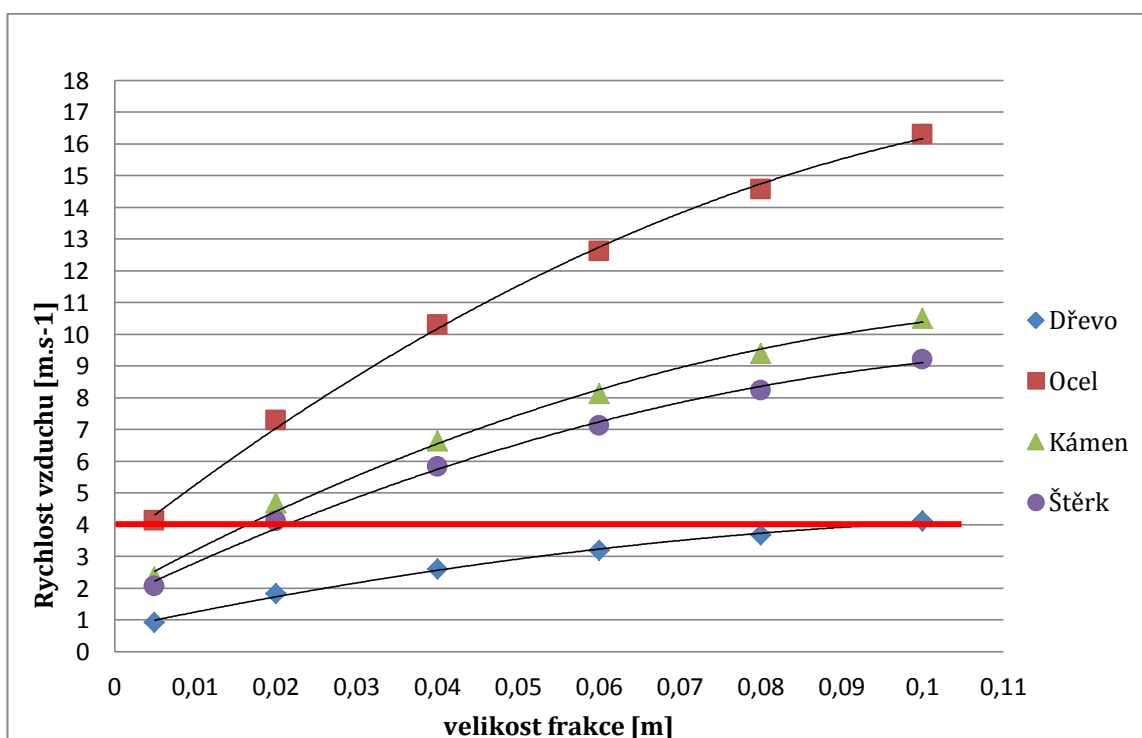
$$v_{v_{min}} = \sqrt{\varepsilon_m^3 \frac{\rho_p - \rho_v \cdot g \cdot \delta_t \cdot d}{2 \cdot \rho_v}} \quad (42)$$

$$v_{v_{min}} = \sqrt{0,5^3 \frac{500 - 1,29 \cdot 9,81 \cdot 0,714 \cdot 100}{2 \cdot 1,29}}$$

$$v_{v_{min}} = 4,113 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

ρ_v - hustota vzduchu

ρ_p - hustota pevné částice; $\rho_p = \rho_D$



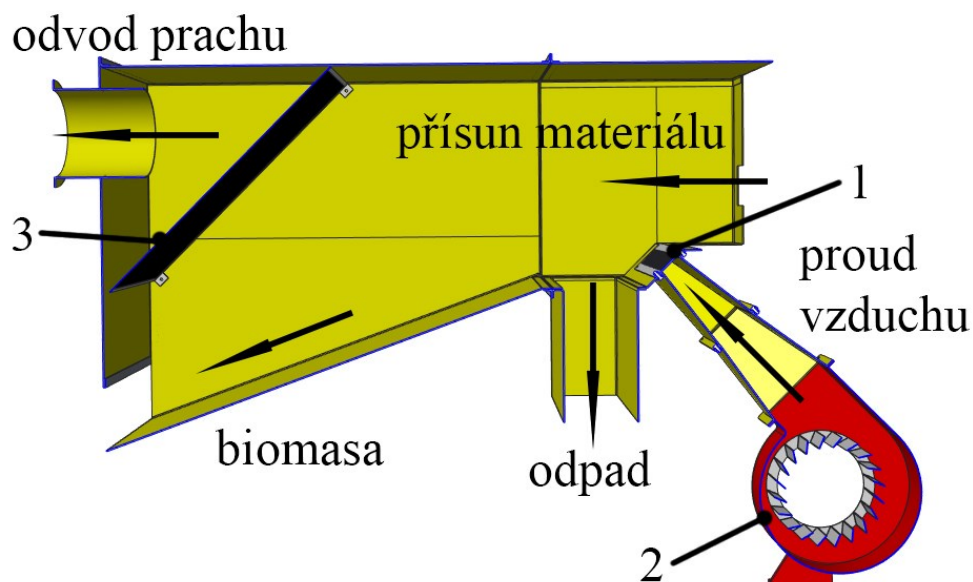
Graf 8.1: Vznos

Z grafu vyplývá, že třídíče ze štěrky nevytřídí kameny menší než 20 mm. Tyto kameny jsou natolik lehké, že bez ohledu na velký rozdíl hustoty kamene a dřeva jsou tyto kameny proudem vzduchu unášeny spolu se štěpkou. Dle požadavkového listu je však možno propustit do zplyňovače pouze kameny menší než 10 mm. Z tohoto důvodu by měl být před vstup do kotle zařazen menší vibrační třídíče, jenž zároveň odstraní nežádoucí materiál, který může do štěrky vniknout v průběhu dalšího zpracování a skladování, jako například uvolněné matice a jiné.

Výpočet vznosu je pouze přibližný a to kvůli použití koeficientů a aproximací. Z tohoto důvodu bude ventilátor navržený v konstrukci třídíče vybaven regulací.

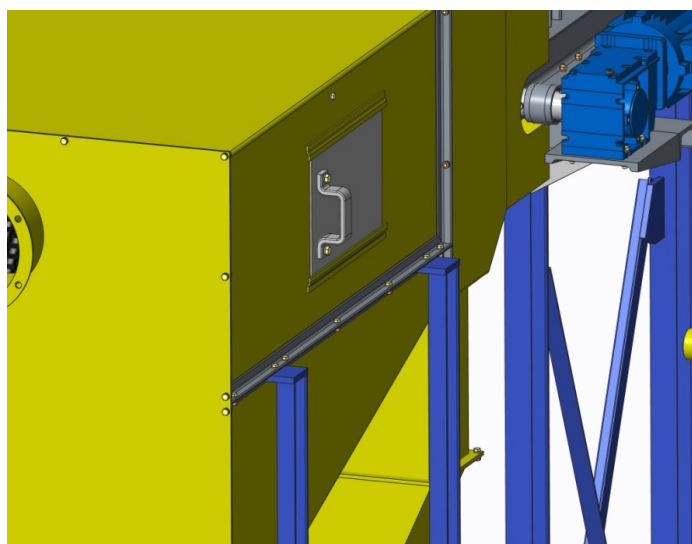
8.2 Konstrukční návrh větrného třídiče

Větrný třídič navazuje na pásový dopravník. Ke třídiči je pod úhlem 45° připojen ventilátor (příloha D). Dýza ventilátoru je opatřena mřížkou (poz.1) která slouží k ochraně ventilátoru před možným vniknutím dopravovaného materiálu. Štěpka je převáděna ve vznosu na skluz, zatímco kameny a kov propadnou do svodu. Třídič je dále vybaven odsáváním prachu a roštem (poz.3), který zabraňuje vniknutí menších částí frakce do odsávání. Sací potrubí je vyvedeno do filtračního zařízení, které je již součástí haly.



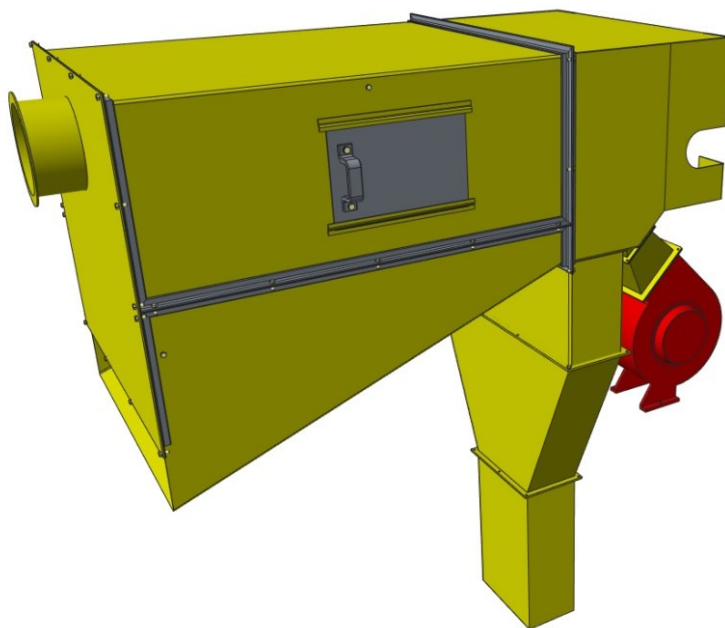
Obr.č. 8.3. Popis větrného třídiče

Samotný větrný třídič se skládá ze svařenců, které jsou k sobě přišroubovány. Tyto svařence tvoří kostra z L profilů a plechy. Dýza ventilátoru a svod pro odpad jsou taktéž připevněny šroubovými spoji. Celé zařízení je pak přišroubováno přes patky ke konstrukci (Obr.č. 8.4) a ke krytu dopravníku.



Obr.č. 8.4. Upevnění třídiče

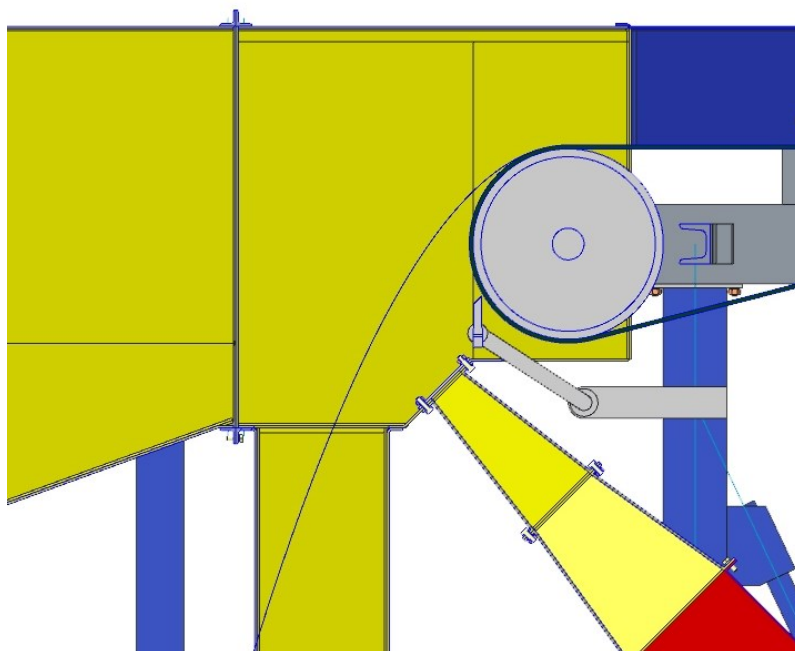
Na stěně vrchní části třídíče je umístěn revizní otvor s posuvnými dvířky, který je určen ke kontrole a případné manipulaci s usazeným materiálem. (Obr.č. 8.5).



Obr.č. 8.5. *Větrný třídíč*

Vykreslení vrhové paraboly do modelu třídíče

Do modelu třídíče byla vykreslena vrhová parabola k interpretaci trajektorie nežádoucího materiálu.



Obr.č. 8.6. *Vrhová parabola v modelu*

Konstrukční výpočty třídiče

Byl proveden výpočet potřebného úhlu naklonění skluzu. V tomto výpočtu se vycházelo z koeficientu tření mezi ocelí a dřevem $f_{o-d} = 0,35$ [19].

$$F_N = G_y \quad (43)$$

$$F_T = G_x$$

$$F_T = f_{o-d} \cdot F_N$$

$$f_{o-d} = \frac{G_x}{G_y} = \frac{G \cdot \cos \alpha}{G \cdot \sin \alpha} = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = \cot \alpha \quad (44)$$

$$\alpha = \arctg f_{o-d} \quad (45)$$

$$\alpha = \arctg 0,35$$

$$\alpha = 19,290^\circ$$

Při návrhu třídiče byl zvolen úhel skluzu 22°

Volba ventilátoru

Potřebný průtok vzduchu ventilátoru je určen pomocí rovnice kontinuity.

$$Q_v = v_{v_{min}} \cdot S_d \quad (46)$$

$$Q_v = 4,11 \cdot 0,03$$

$$Q_v = 0,123 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 443,88 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Kde plocha S_d je dána koncem dýzy ventilátoru.

$$S_d = a \cdot b \quad (47)$$

$$S_d = 0,6 \cdot 0,05$$

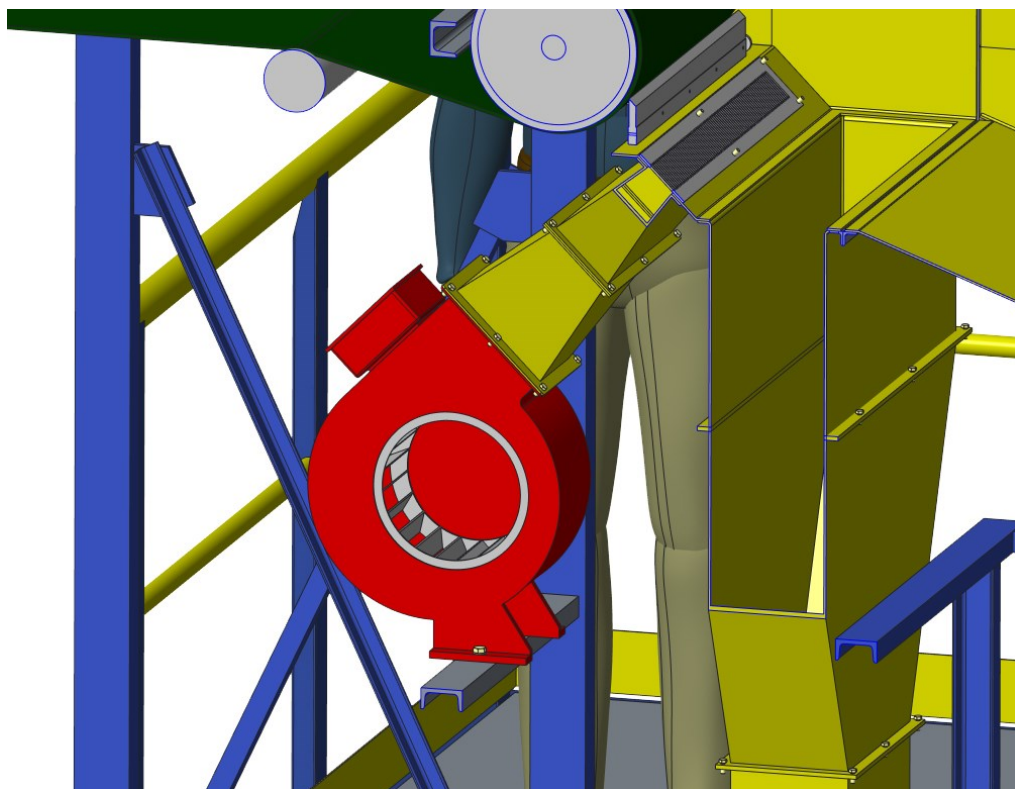
$$S_d = 0,03$$

Z vypočtených hodnot byl zvolen šnekový ventilátor firmy Ventilatory.cz s průtokem vzduchu 600 m³/hod a dále 300W regulátor otáček od téhož prodejce.



Obr.č. 8.7. Šnekový ventilátor

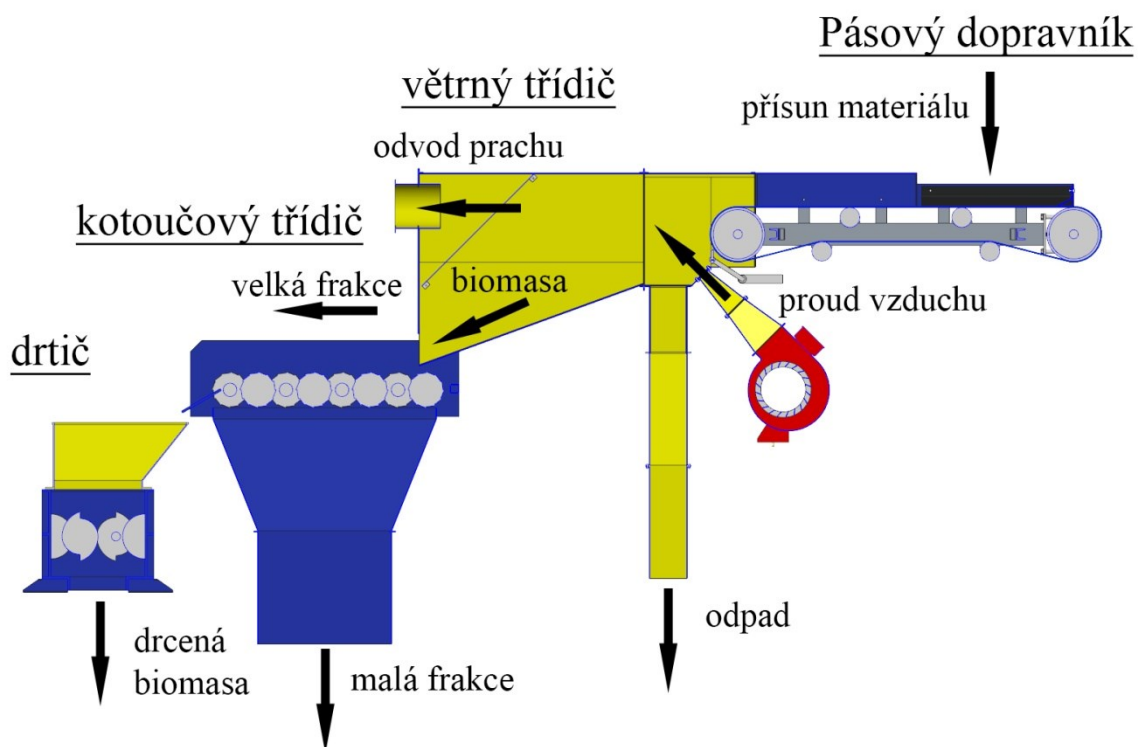
Ventilátor je přišroubován k větrnému třídiči a také k U profilu pomocí připevněných nožek.



Obr.č. 8.8. Upevnění ventilátoru

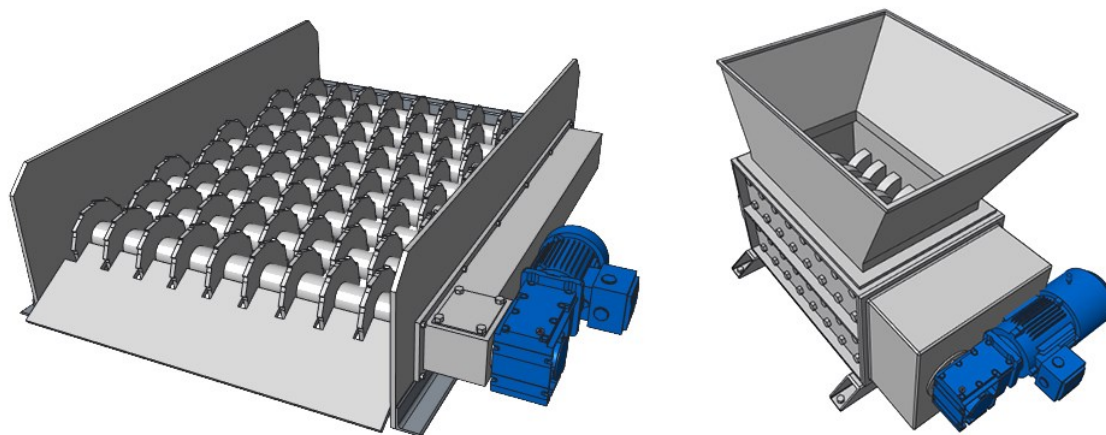
9 Sestava třídiče

Za větrný třídič je zasazen kotoučový třídič, který propustí menší frakci biomasy, zatímco větší frakci přesouvá dále do drtiče. Z drtiče i kotoučového třídiče padá biomasa svodem do návazného zařízení, které je umístěno pod ochozem.



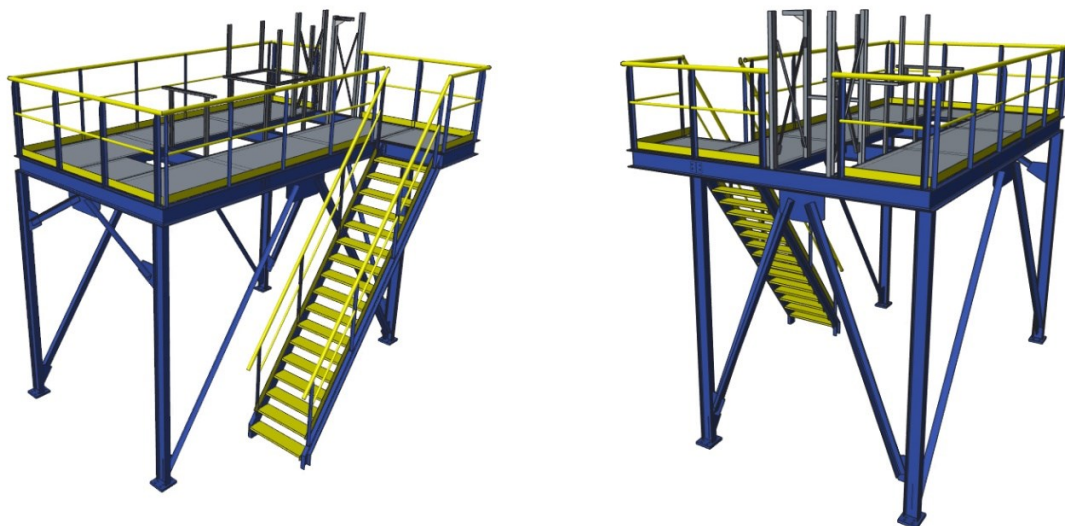
Obr.č. 9.1. *Technologické schéma*

Návrh drtiče a třídiče není předmětem této bakalářské práce, proto jsou vymodelovány zjednodušeně. Kotoučové třídiče jsou dodávány firmami, jako například SG strojírna s.r.o., na zakázku dle potřeb zákazníka. Drtiče jsou vyráběny ve výrobních řadách ku příkladu také firmou SG strojírna s.r.o..



Obr.č. 9.2. *Kotoučový třídič a drtič*

Dle požadavkového listu byl navržen ochoz ve výšce 3,5 metrů. Jedná se o šroubovanou konstrukci složenou z I, U a T profilů, která je upevněna k podlaze pomocí kotevních šroubů. Čelní strana konstrukce je průchozí, protože se pod ní nachází návazné zařízení. Do tohoto zařízení padá biomasa z kotoučového třidiče a drtiče. Aby mohly být svody vedeny do návazného zařízení, je v prostřední části ochozu volný prostor. Pro upevnění zařízení nacházejících se na ochozu bylo nutné vytvořit konstrukci ze soustavy profilů. Ochoz umožňuje průchod kolem celého zařízení.



Obr.č. 9.3. *Ochoz*



Obr.č. 9.4. *Separátor štěpky*

10 Závěr

Analýza problematiky poukázala na možné směry řešení, které vedly k sestavení koncepčních variant. Tyto varianty byly podrobeny kritériálnímu hodnocení, z něhož byla stanovena optimální varianta - větrný třidič.

Součástí větrného třidiče je pásový dopravník, jehož parametry byly spočítány podle algoritmu na výpočet dopravníků. Vzhledem k povaze dopravovaného materiálu bylo upuštěno od zařazení magnetického válce z důvodu nízkého obsahu kovů a přílišné komplikaci konstrukce.

Dalším krokem byl výpočet vnosu materiálu. Tento výpočet byl proveden pro několik vzorků štěpky a kamene za použití programu Microsoft Excel. Z výsledných hodnot byl vytvořen graf který byl následně analyzován. Z grafu vyplynulo, že proud vzduchu potřebný pro vnos největších kusů štěpky převede i kameny do velikosti 20 mm. Z tohoto důvodu je doporučením této práce zařadit před vstup do kotle vibrační třidič, jenž zároveň odstraní nežádoucí materiál, který může do štěpky vniknout v průběhu dalšího zpracování a skladování, jako například uvolněné matice a jiné. Po výpočtu vnosu byl zvolen rozměr dýzy a následně také ventilátor.

Větrný separátor a část pásového dopravníku je zakrytována z důvodu eliminace víření prachu do okolí. Toto je dále ošetřeno odsáváním vzduchu v třidiči, které je napojeno na prachový filtr v hale.

Dále byla navržena návazná zařízení - kotoučový třidič pro rozřazení štěpky dle velikosti a drtič pro drcení velkých kusů štěpky. Všechna tato zařízení jsou připevněna k jedné konstrukci ve výšce 3,5 metrů

Modely a také následná výkresová dokumentace byla vytvořena pomocí software PTC Creo Parametric 3.0. Součástí výkresové dokumentace je sestavný výkres celé sestavy včetně kusovníku, sestavný výkres větrného třidiče a dopravníku a dále výrobní výkres vedení napínacího mechanismu. Do příloh byly zařazeny technické listy nakupovaných komponentů a výkresy.

11 Použité zdroje

- [1] Nihot Windshifter. [online]. [2014-11-13]. Dostupné z: http://www.nihot.co.uk/fileadmin/nihot/pdf/windshifter_en.pdf
- [2] Bubnové magnetické separátory. *EPA* [online]. [2014-11-13]. Dostupné z: <http://www.epa.cz/vibracni-a-tridici-technika/bubnove-magneticke-separatory/>
- [3] WAMAG, spol. s r.o. [online]. [2015-05-13]. Dostupné z: <http://www.wamag.cz/>
- [4] Zplyňování biomasy s kogenerací. [online]. [2014-11-13]. Dostupné z: http://biom.cz/cz/odborne-clanky/obnovitelny-zdroj-energie-zplynovani-biomasy-s-kogeneraci?all_ids=1#disc
- [5] Vibrační třídič. SG STROJIRNA S.R.O. [online]. [2014-11-26]. Dostupné z: <http://www.sg-stroj.cz/vibracni-tridic>
- [6] Vzduchový separátor ZZ. INGOTTO. [online]. [2014-011-26]. Dostupné z: <http://www.agro.ingotto.sk/produkty/vzduchovy-separator-zz>
- [7] SELOS. *Magnetické separátory* [online]. [2014-11-26]. Dostupné z: <http://www.magnety.eu/>
- [8] Vibrační síťový třídič PVT. JK MACHINERY. [online]. [2014-11-26]. Dostupné z: <http://www.jk-machinery.cz/31/vibracni-sitovy-tridic-pvt/>
- [9] *Centrální zásobování teplem: Zplyňování, pyrolýza, parní cyklus*. Žilinská univerzita v Žilině, katedra energetické techniky. GB GASIFIED. *Zplyňování biomasy: Výroba elektrické energie a tepla*. 2013.
- [10] VAŠKO, Radim. *MONITOROVACÍ SYSTÉM PRO ZPLYŇOVÁNÍ DŘEVNÍ ŠTĚPKY*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [11] Haith group recycling. HAITH GROUP. [online]. [2014-11-26]. Dostupné z: http://www.haith-recycling.com/sink_float_tank_stone_separation_de-stoning.html

- [12] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008, xiv, 914 s. ISBN 9788073610517.
- [13] POLÁK, Jaromír. *Dopravní a manipulační zařízení II*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2003, 104 s. ISBN 80-248-0493-x.
- [14] ZEGZULKA, Jiří. *Mechanika syplých hmot*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2004, 186 s. ISBN 80-248-0699-1.
- [15] JANALÍK, Jaroslav. POTRUBNÍ HYDRAULICKÁ A PNEUMATICKÁ DOPRAVA [online]. Ostrava, 2010. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/PDF/HaPDRozsirenePDF.pdf>. VŠB-TUO.
- [16] KONEČNÝ, Zdeněk. *Základy technické dokumentace*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2004, 83 s. ISBN 80-248-0514-6.
- [17] BUREŠ, Jíří. *ConVERTER* [online]. [2015-04-15]. 2002. ISSN 1214-7591. Dostupné z: <http://www.converter.cz/index.htm>
- [18] Norma ČSN ISO 5048: 1994. *Zařízení pro plynulou dopravu nákladů – Pásové dopravníky s nosnými válečky – Výpočet výkonu a tahových sil*. Praha: Český normalizační institut, 1993. 16 s.
- [19] FILIP, Petr. *E-konstrukter.cz* [online]. [2015-04-22]. 2013. Dostupné z: <http://e-konstrukter.cz/>
- [20] ŠVERCL, Josef. *Technické kreslení a deskriptivní geometrie pro školu a praxi*. 1. vyd. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2003, 341 s. ISBN 80-7183-297-9.

12 Seznam příloh

Příloha A - Technický list ložiskového domku SKF

Příloha B - Technický list motoru Siemens

Příloha C - Technický list spojky BoWex

Příloha D - Sestavný výkres separátoru KOV0150-A2-01

Příloha E - Sestavný výkres třídiče a dopravníku KOV0150-A3-01.1

Příloha F - Výrobní výkres vedení napínacího mechanismu KOV0150-A4-01.1.1