

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

Ústav procesní a zpracovatelské techniky



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Linka na třídění odpadů a biomasy pro jejich následné zpracování

(Sorting production line for waste and biomass for aftertreatment)

Autor práce: Martin Tauer

Vedoucí práce: Prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.

Praha 2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Tauer** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **459987**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav procesní a zpracovatelské techniky**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Linka na třídění odpadů a biomasy pro jejich následné zpracování

Název bakalářské práce anglicky:

Sorting production line for waste and biomass for aftertreatment

Pokyny pro vypracování:

Popište složení odpadů a biomasy a definujte parametry pro jejich třídění. Seznamte se s základními operacemi pro hydraulické a mechanické třídění a rozdužování těchto materiálů.

Vyberte vhodné operace potřebné pro dosažení požadovaného vytřídění a rozdužení surovin a popište metodiku jejich návrhu pro danou technologii.

Navrhnete koncepci linky pro základní vytřídění kovových materiálů, kameniva a plastů z biomasy a odpadů, které budou následně zpracovávány v konceptu biorafinerie.

Vyberte vhodná zařízení pro modelování takovéto linky v modelovém (laboratorním) měřítku.

Seznam doporučené literatury:

Dle vlastní literární, průmyslové a patentové rešerše a doporučení vedoucího práce.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D., ústav procesní a zpracovatelské techniky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **23.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **08.06.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, Dr.Sc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

26-04-2018

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Tříděný materiál	9
2.0 Biomasa	9
2.1 Rozdělení biomasy podle struktury.....	9
2.1.1 Rostliny pěstované k energetickému využití	9
2.1.2 Odpadní biomasa.....	9
2.1.3 Odpady z čistíček odpadních vod	10
2.2 Rozdělení biomasy podle způsobů využití.....	10
2.2.1 Fermentace.....	10
2.2.2 Přímé spalování	11
2.2.3 Zplyňování.....	13
2.2.4 Kompostování.....	13
2.2.5 Shrnutí	14
2.3 Parametry vstupního materiálu pro třídění	14
3. Strojní vybavení třídících linek	15
3.1 Zařízení pro vstup a dopravu materiálu	15
3.1.1 Pásové dopravníky.....	15
3.1.2 Řetězopásové dopravníky.....	16
3.2 Třídící zařízení.....	16
3.2.1 Rotační třídič.....	16
3.2.2 Kotoučové třídící síto.....	18
3.2.3 Vzduchový třídič	19
3.2.4 Vibrační síto	20
3.2.5 Balistický třídič.....	22
3.2.6 Bubnové magnetické separátory.....	23
3.2.7 Závěsné separátory s permanentními magnety.....	24
3.2.8 Separace pomocí vířivých proudů	26
3.2.9 Automatické NIR optické třídící zařízení.....	26
4. Laboratorní zařízení pro linku na třídění biomasy	28
4.1 Detektor kovů Thermofisher APEX 500 HD	28
4.2 Magnetický válec a deska s automatickým čištěním Sollau	29
4.3 Meyer Rock 120Li NIR třídič	30
4.4 Rotační bubnový separátor CIMBRIA HEID	31

4.5 Vibrační síto BISON SEPARATOR	32
4.6 Gravitační separátor CIMBRIA HEID	32
4.7 Pásové dopravníky GUMEX	33
5. Návrh laboratorní třídící linky	35
5.1 Vstupní materiál	35
5.2 Popis technologie třídící linky.....	36
5.3 Výstupní materiál	38
6. Závěr.....	39
7. Seznam použitých veličin a jednotek	40
8. Seznam použité literatury	41

Anotační list

Jméno autora:	Martin
Příjmení autora:	Tauer
Název práce česky:	Linka na třídění odpadů a biomasy pro jejich následné zpracování
Název práce anglicky:	Sorting production line for waste and biomass for aftertreatment
Rozsah práce:	počet stran: 43 počet obrázků: 30 počet tabulek: 1 počet příloh: 1
Akademický rok:	2017/2018
Jazyk práce:	čeština
Ústav:	Ú 12 118 – Ústav procesní a zpracovatelské techniky
Studijní program:	Strojní inženýrství – Procesní technika
Vedoucí práce:	Prof. Ing. Tomáš Jirout, Ph.D.
Oponent:	Doc. Ing. Lukáš Krátký, Ph.D.
Konzultant práce:	
Zadavatel:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ú12118

Anotace:

Hlavním cílem této práce je navrhnout třídící linku v laboratorním měřítku, která bude schopna spolehlivě připravit zejména odpadní biomasu pro následné zpracování. Práce obsahuje popis technologie této linky a koncepční návrh v podobě PFD schématu. Práce dále obsahuje rešerši týkající se charakteristik biomasy a popisu mechanismů pro třídění biomasy a odpadů.

Klíčová slova: biomasa, třídění, separace, odpad, linka

Abstract:

The main objective of this thesis is to design a laboratory-sized sorting production line, which will be able to reliably prepare mainly waste biomass for aftertreatment. The thesis contains description of technology of the production line and conceptual design described in a PFD schema. The thesis also contains research concerning characteristics of biomass and description of mechanisms for biomass and waste sorting.

Key words: biomass, sorting, separation, waste, production line

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího prof. Ing. Tomáše Jirouta, Ph.D. a uvedl jsem všechny použité zdroje a literaturu.

V Praze dne:

.....

Martin Tauer

Poděkování

Rád bych poděkoval prof. Ing. Tomášovi Jiroutovi, Ph.D. za jeho čas, ochotu, trpělivost a všechny rady udělené při psaní této bakalářské práce.

1. Úvod

V dnešní době, kdy neustále roste míra automatizace průmyslu a je kladen velký důraz na ekologické a účelné nakládání s odpadními surovinami, jsou třídící linky využívány ve stále větší míře. Cílem této bakalářské práce je navrhnout linku pro třídění zejména odpadní biomasy a analyzovat problematiku biomasy a třídících mechanismů.

První část práce tvoří průmyslová a literární rešerše popisující základní charakteristiku biomasy. Rešerše obsahuje rozdělení biomasy podle jejího původu a také způsobu následného zpracování, které je rozšířeno o popis základního principu fungování těchto zpracovatelských technologií. Pro každou technologii je uveden vhodný typ biomasy, její vlastnosti a potřebné předúpravy.

Druhou částí práce je rešerše věnující se třídícím zařízením a mechanismům používaným v komerčních třídících linkách pro dopravu a třídění materiálu. Je zde popsán princip fungování jednotlivých zařízení, jejich vzhled, využití a metodika návrhu daných technologií.

V závěrečné části jsou zvolena a popsána zařízení laboratorní velikosti, která mohou být součástí navrhované třídící linky. Následně je definován typ vstupní směsi, pro jejíž třídění je linka navržena. Pro návrh konceptu třídící linky byla vybrána vhodná zařízení a vytvořeno proudové technologické schéma. Závěr práce tvoří popis technologie navržené třídící linky jako celku.

2. Tříděný materiál

2.0 Biomasa

Obecně si lze pod pojmem biomasa představit hmotu všech existujících živých organismů a produkty jejich činnosti. Základním producentem biomasy jsou rostliny, které pomocí sluneční energie zachycené v chlorofylu produkují sacharidy a následně bílkoviny. Biomasa je snadno získatelný obnovitelný zdroj energie, který racionálním využíváním nelze vyčerpávat. Využití biomasy každoročně narůstá vzhledem neustále klesajícím světovým zásobám fosilních paliv.

2.1 Rozdělení biomasy podle struktury

2.1.1 Rostliny pěstované k energetickému využití

Rostliny pěstované k energetickému využití se dělí na: [3]

- **Rostliny jednoleté, víceleté a vytrvalé** - rostliny bylinného charakteru. Mezi jednoleté a dvouleté rostliny se řadí např.: laskavec, konopí seté, sléz přeslenitý, komonice bílá, pupalka dvouletá, hořčice sarepská a další. Mezi víceleté a vytrvalé rostliny se řadí např.: jestřabina východní, mužák prorostlý, čičorka pestrá, šťovík krmný a sléz vytrvalý. Výhodou těchto rostlin je, že jejich vysévání nijak nezabraňuje následnému využití zemědělské půdy pro potravinářství.
- **Energetické trávy** - sveřep horský, psineček veliký, lesknice rákosovitá, ovsík vyvýšený a ozdobnice čínská.
- **Rychle rostoucí dřeviny** - charakteristickým znakem těchto dřevin je vysoký hmotový přírůstek. Patří mezi ně vrby, akáty, břízy, olše a osiky.
- **Zemědělské plodiny** - kukuřice, řepka, cukrová řepa

2.1.2 Odpadní biomasa

Odpadní biomasa se dělí na: [3]

- **Rostlinný odpad ze zemědělské výroby** - sláma (kukuřičná, obilná, řepková), zbytky po likvidaci křovin, dřevní odpady ze sadů, vinic apod.
- **Odpad ze živočišné výroby** - exkrementy chovných zvířat, nepoužitelná krmiva, odpady živočišného a zpracovatelského průmyslu

- **Organický komunální odpad** - bioodpad z domácností
- **Organický odpad z potravinářských a průmyslových výroby** - odpady z jatek, lihovarů, mlékáren, cukrovarů, konzerváren nebo vinařských, stravovacích a dřevařských provozů (odřezky, piliny apod.)
- **Lesní odpad** - kůra, větve, pařezy, kořeny, palivové dřevo, klest

2.1.3 Odpady z čističek odpadních vod

Kal z čističky odpadních vod patří mezi energeticky využitelné látky. Pro využití kalu bývá nutné provést určité úpravy, které závisí na typu jeho aplikace (např. likvidace patogenů). Kal se upravuje např. pasterizací nebo vápnem. [3]

2.2 Rozdělení biomasy podle způsobů využití

2.2.1 Fermentace

Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace neboli metanové kvašení je proces, při kterém za pomoci mikroorganismů dochází k rozkladu organických látek bez přítomnosti kyslíku. Této technologie se využívá pro výrobu biopaliv. Probíhá v tzv. anaerobních reaktorech – krytý válcový fermentor, krytá jímka, věžový reaktor, apod.

Biomasa využívaná pro anaerobní fermentaci: [19]

- Exkrementy hospodářských zvířat – kejda, trus, hnůj, močůvka
- Fytomasa – určité druhy energetických rostlin, neprodejně produkty (např. zbytky krmiv), siláž, senáž
- Speciální odpady – masokostní moučka, bioodpad z chemické výroby
- Odpady ze zpracovatelského a potravinářského průmyslu
- Bioodpad z domácností

Alkoholová fermentace

Alkoholová fermentace probíhá v mokřím prostředí bez přístupu vzduchu. Princip je téměř shodný s metanovým kvašením, rozdíl je pouze ve vstupních a výstupních surovinách. Výsledným produktem alkoholové fermentace je etanol, který po destilaci může být využit např. jako přísada do paliva pro spalovací motory. [28]

Biomasa využívaná pro alkoholovou fermentaci

Pro alkoholovou fermentaci se používají se rostliny s vysokým obsahem cukru – cukrová řepa, kukuřice a sladké brambory. Dále se používá pšenice, ječmen, oves, rýže a ligninocelulóznové materiály, jako jsou zemědělské odpady a dřevnaté materiály. [28]

Vhodné vlastnosti fermentované biomasy: [21]

- převažující podíl biologicky rozložitelných látek
- minimální velikost částic fermentovaného materiálu
- optimální obsah sušiny
 - tekutý materiál – 8 % až 14 %
 - pevný materiál – 22 % až 25 %
- minimální obsah anorganických příměsí
- kyselost materiálu – pH 7,8 až 8
- optimální poměr uhlíkatých a dusíkatých látek – 30:1 (uhlík:dusík)

Vhodné úpravy biomasy před fermentací:

- vytřídění nežádoucích látek (plasty, kovy, kamenivo) pomocí třídící linky
- mísení různých směsí pro optimalizaci poměru dusíku a uhlíku
- homogenizace materiálu a úprava kyselosti
- mletí – dezintegrace částic na velikost menší než 1 cm

2.2.2 Přímé spalování

Spalováním dochází k rozkladu organického materiálu při vysoké teplotě na hořlavé plyny a uhlí. Oxidací dále vzniká oxid uhličitý a voda. Teplota spalování nesmí klesnout pod 600°C, aby nedošlo k nedostatečnému prohořívání těkavých látek a netvořil by se dým. Optimální teplota spalování je přibližně 900°C. Spalování biomasy slouží k výrobě tepla a elektrické energie, případně páry pro ohřev vody. Spalování probíhá v kotlích lišících se velikostí, výkonem a typem spalované biomasy. Výkon kotlů se pohybuje v rozmezí 15 kW až 5 MW. [22]

Proces spalování biomasy probíhá ve čtyřech fázích: [21]

- **sušení** – dochází k zahřívání materiálu a odstranění vlhkosti

- **pyrolýza** – po dosažení zápalné teploty dochází k rozkladu materiálu na hořlavé plyny a uhelný zbytek
- **spalování plynné složky** – dochází ke zvýšení teploty
- **spalování pevných složek** – při dostatečném přístupu kyslíku dohořívají pevné látky, vzniká oxid uhelnatý, který oxiduje na oxid uhličitý

Mezi **spalovanou biomasu** se řadí dřevo, odpadové dřevo a sláma. Dřevo se spaluje převážně ve formě pelet, štěpky, polen, pilin a briket. Slámu je možné také peletovat nebo balíkovat.

Vhodné vlastnosti spalované biomasy

- velikost a struktura odpovídající kotli
- minimální vlhkost

Vhodné úpravy biomasy před spalováním [22]

- sušení mokré frakce – řízené (bubnové, pásové sušičky, apod.) nebo přirozené sušení
- vytrídění nežádoucích látek (plasty, kovy, kamenivo) pomocí třídící linky
- dezintegrace materiálu:
 - stříhání – pro výrobu kusového palivového dřeva o menší velikosti, využívá se pro zpracování odpadového dřeva, které je těžko štěpkovatelné
 - sekání (štěpkování) – beztrískové dělení dřeva napříč vlákny a zároveň dělení dřeva na potřebnou tloušťku podél vláken. Existuje mnoho typů sekaček, např. bubnové, šroubové, diskové apod.
 - drcení – dezintegrace částic na velikost přibližně 1 cm
- konečné úpravy materiálu
 - paketování – lisování klestu do balíků pro usnadnění dopravy, manipulace a skladování
 - briketování a peletování – lisování dřevního materiálu do briket či pelet. Pelety se vyrábějí z měkkých dřevin. Mají válcovitý tvar, obvyklá velikost pelet je 5 až 40 mm. Brikety jsou vyrobeny lisováním např. pilin, kůry, dřevní drtě a prachu. Vyrábějí se o velikosti 40 až 100 mm. Nejpoužívanější zařízení pro jejich výrobu jsou hydraulické, mechanické, granulační a šnekové lisy.

2.2.3 Zplyňování

Zplyňování je termochemický proces, při kterém dochází k přeměně pevného či kapalného uhlíkatého materiálu na výhřevný energetický plyn za pomoci tepla a zplyňovacích médií. Produktem procesu je plyn skládající se z výhřevných složek (H_2 , CO , CH_4), doprovodných složek (CO_2 , H_2O , N_2) a znečišťujících složek (dehet, prach, sloučeniny síry, chlóru apod.). Proces probíhá podobně jako spalování ve čtyřech fázích – sušení, pyrolýza, redukce a oxidace. Zplyňování probíhá v generátorech, a to buď postupně (sesuvné generátory) nebo souběžně (fluidní generátory). Výhodou zplyňování oproti přímému spalování je nižší tvorba emisí a úspora paliva. Nevýhodou představují vyšší pořizovací náklady zařízení a nutnost častého čištění od dehtu. [23]

Mezi **zplyňovanou biomasu** patří dřevní štěpka, pelety, brikety, energetické rostliny, sláma, případně kaly z čističek odpadních vod.

Vhodné vlastnosti zplyňované biomasy [24]

- dřevní biomasa – hustota dřeva nebo briket menší než $250\text{--}300\text{ kg/m}^3$
- volná biomasa – vlhkost 15 % až 25 %, optimální obsah popela pod 5%, maximálně až 20 %, hustota menší než 150 kg/m^3

Vhodné úpravy biomasy před zplyňováním [25]

- vytřídění nežádoucích látek (plasty, kovy, kamenivo) pomocí třídící linky
- dezintegrace biomasy na účinnou velikost částic – 10 až 100 mm
- peletování, briketování
- vysušení – nutno odstranit alespoň 90% hmotnostního podílu vody
- torefakce – termické zpracování biomasy za teploty 220 až 280°C za podmínek pomalé pyrolýzy a absence kyslíku. Účelem torefakce je zvýšení energetické hustoty a výhřevnosti materiálu, redukování velikosti částic, snížení vlhkosti, snížení obsahu kyslíku a vodíku a zvýšení podílu uhlíku. Torefakcí biomasa získává odolnost vůči opětovnému zvlhnutí.

2.2.4 Kompostování

Kompostování je termofilní biodegradace biologicky rozložitelného odpadu s přístupem kyslíku za pomoci bakterií, hub nebo červů. Kompostování může probíhat samostatně

(venkovní hromada bioodpadu) nebo může být částečně řízené počítačem (uzavřené kompostování). Konečným výsledkem je částečně rozložená organická hmota – humus. [27]

Nejběžnější formou **kompostovaného materiálu** je biologicky rozložitelný odpad, který pochází z domácností nebo z komerčních a průmyslových zdrojů. Používá se např. zahradní odpad, a to ligninocelulóznová biomasa, tj. odřezky trávy, větve a odumřelé rostliny. Do této směsi lze přidat potravinové zbytky.

Vhodné vlastnosti kompostované biomasy [27]

- vlhkost – 50% – 60%

Vhodné předúpravy biomasy před kompostováním [27]

- vytřídění nežádoucích látek (plasty, kovy, kamenivo) pomocí třídící linky
- dezintegrace částic na velikost přibližně 1 cm
- míchání – zajištění správného poměru uhlíku a dusíku (např. směšování trávy s vyšším obsahem dusíku a dřevního materiálu s nižším obsahem dusíku)
- zvlhčování – vodou, výluhem
- pasterizace – likvidace patogenů ohřevem materiálu na teplotu 40 – 80°C, obvykle proces trvá 2 – 3 týdny

2.2.5 Shrnutí

Pro částečnou přípravu materiálu pro všechny zmíněné zpracovatelské technologie by bylo možné využít stejnou třídící linku pro odstranění nežádoucích příměsí. Na této lince by mohla probíhat také dezintegrace neboť velikost částic přibližně 1 cm je vhodná pro všechny aplikace biomasy. Ostatní předúpravy nekorespondují s funkcemi třídící linky.

2.3 Parametry vstupního materiálu pro třídění

Materiál vstupující do třídící linky by měl být charakterizován **množstvím materiálu**, **velikostí** jednotlivých složek, **vlhkostí** a **složením**. Pro odstranění každé nežádoucí příměsi musí být v lince instalované příslušné zařízení. Pro volbu třídících zařízení je důležitým parametrem **hustota vstupní směsi**. Aby nebyla linka poškozena, je třeba zkontrolovat **přítomnost agresivních látek** ve vstupní směsi. Hlavním návrhovým parametrem linky je požadovaná **výstupní velikost částic**.

3. Strojní vybavení třídících linek

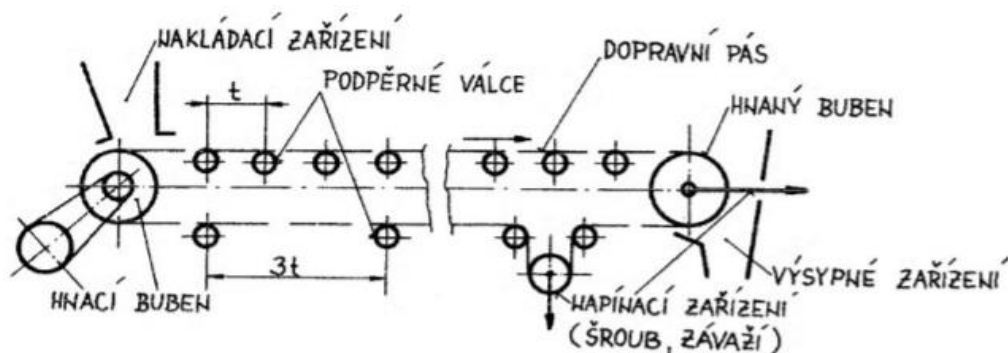
Třídící linka se skládá z více propojených zařízení, která slouží k manipulaci a třídění vstupní směsi. Může se jednat např. o směs biomasy, plastů, kovů a kameniva. Účelem třídící linky je ze sebraného materiálu učinit zpracovatelnou surovinu.

3.1 Zařízení pro vstup a dopravu materiálu

Pohyb materiálu po lince zajišťují dopravníky a gravitační skluzy. Mezi nejčastěji využívané dopravníky patří dopravníky pásové a řetězopásové. Dopravník je navržen na základě potřebného zpracovaného objemu vstupní směsi za určitý čas a podle umístění třídících zařízení v lince. Dále je nutné zohlednit hmotnost vstupní směsi a rychlost podávání. Důležitými parametry pro volbu dopravníku jsou rychlost pohybu, nosnost, šířka pásu a sklon. Sklon dopravníku dosahuje až 50° , při kterém lze dopravit materiál do výšky úměrné 75 % délky dopravníku.

3.1.1 Pásové dopravníky

Pásové dopravníky slouží k přepravě tříděné směsi ve vodorovném nebo šikmém směru. Skládají se z dopravníkového pásu, hnacího bubnu, hnaného bubnu, podpěrných válců a napínacího mechanismu. Na začátku dopravníku se obvykle nachází násypné zařízení a na konci výsypné zařízení. Dopravníkový pás je nejčastěji vyroben z pogumované textilie, může být i kovový. Hnací buben je poháněn elektromotorem a uvádí pás do pohybu. Hnaný buben udržuje pás napnutý, podpěrné válce zajišťují rovinnou polohu. Povrch bubnů je hladký, nebo ošetřen keramickými materiály pro zvýšení tření mezi bubnem a pásem. [8]



Obr. 1: Schéma pásového dopravníku [8]

3.1.2 Řetězopásové dopravníky

Tento typ dopravníku je tvořen gumovým pásem, v náročnějších provozech nahrazují gumu kovové lamely. Pohon tvoří dvojice řetězů na okrajích dopravníku, které jsou spojeny příčnými profily, k nimž je pás připevněn. V pravidelných vzdálenostech jsou po délce dopravníku rozmístěna kovová hradítka pro zamezení sesypávání materiálu při dopravě pod úhlem. Obvyklá provedení tohoto typu dopravníku jsou rovná, do tvaru „L“ nebo „Z“. [2]



Obr. 2: Řetězopásový dopravník [2]

3.2 Třídící zařízení

3.2.1 Rotační třídič

Toto zařízení se skládá z rotujícího bubnu, který má válcový nebo mnohoúhelníkový průřez a stěny s otvory. Doprava materiálu v axiálním směru je zajištěna sklonem osy bubnu, který bývá 4° až 5°. Materiál, jehož velikost je menší než otvory ve stěnách, se nazývá podsítná frakce. Pod rotačním bubnem se obvykle nachází kontejner, v němž je podsítná frakce skladována, nebo pásový dopravník, který ji dopraví k dalšímu zpracování. Materiál, který otvory bubnu nepropadne, se nazývá nadsítná frakce. Na konci rotačního třídiče se nachází výsypka, kterou je tento materiál vysypáván na dopravník. [9]

Pokud je potřeba získat tříděním více než dvě různé frakce, lze řadit třídiče s různými velikostmi otvorů v bubnu kaskádovitě za sebe. Díky vzájemnému omílání materiálu v bubnu se prosévací plocha nezanášá, proto zařízení nevyžaduje časté čištění. [9]



Obr. 3: Rotační třídič [10]

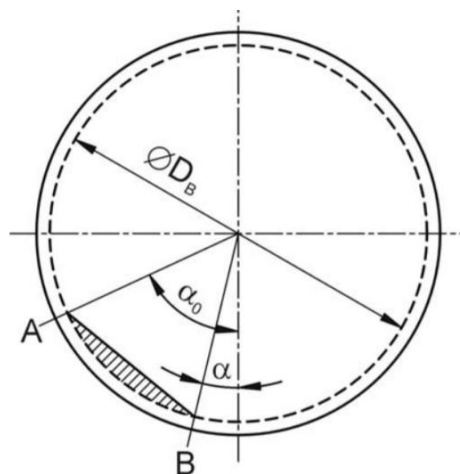


Obr. 4: Rotační třídič (zevnitř) [7]

Metodika návrhu této technologie závisí na velikosti jednotlivých částic vstupní směsi a jejich hmotnosti. Důležitým voleným parametrem je velikost otvorů ve stěně rotujícího bubnu. Na základě míry nehomogenity tříděného materiálu je nutno volit vhodnou délku třídiče. Pro správnou funkci rotačního třídiče je nejdůležitější volba otáček, aby byla zajištěna rovnováha tíhových a odstředivých sil. Tyto otáčky lze vypočítat ze vztahu: [33]

$$n = 0,5 \left[\frac{2g(\sin\alpha_0 - f_o \cos\alpha_0)}{\pi^2 f_o D_B} \right]^{0,5} \quad (3.1)$$

kde D_B = průměr bubnu, g = gravitační zrychlení, α_0 = úhel horní polohy prosévaných částic (max 50°) a f_o = součinitel tření materiálu o síto, který je závislý na typu tříděného materiálu.



Obr. 5: Schéma rotačního třídiče [33]

3.2.2 Kotoučové třídící síto

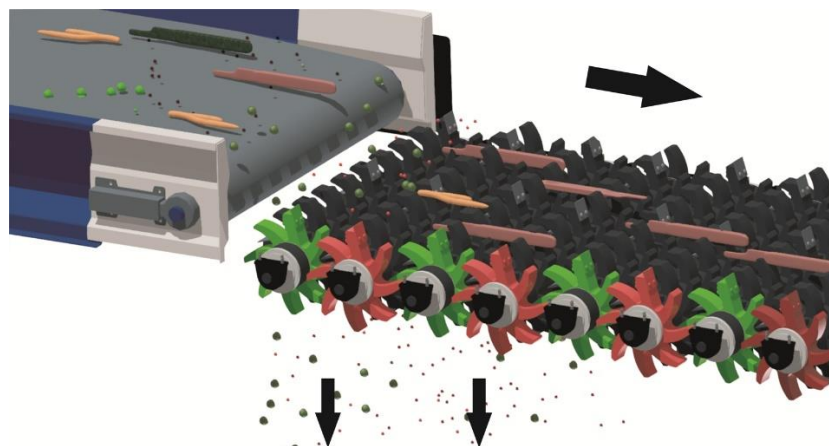
Toto zařízení třídí materiál podle tvaru a velikosti. Skládá se ze soustavy hřídelů, na nichž jsou nasazeny tvarované kotoučové náboje. Hřídele rotují ve směru pohybu tříděného materiálu. Pohon tříděče může být zajištěn soustavou ozubených kol a řetězu, či řemenu. Princip třídění v tomto zařízení spočívá v propadávání frakcí materiálu menších, než je rozteč kotoučů. Větší frakce putuje dále po tříděči. [8], [11]

Oddělené frakce dopadají na dopravník a pokračují dále po lince nebo do kontejneru pro skladování. Sériovým řazením tříděčů lze dosáhnout třídění na více frakcí. [8], [11]



Obr. 6: Kotoučové třídící síto [11]

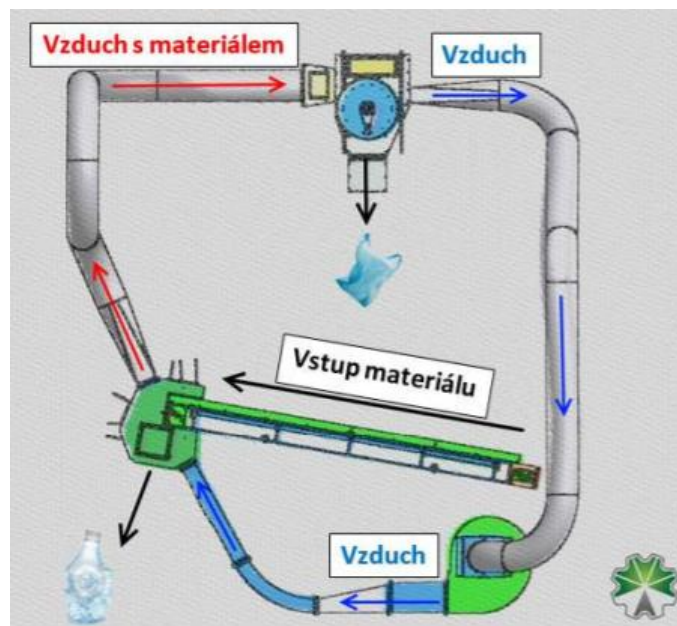
Metodika návrhu této technologie závisí na velikosti jednotlivých částic vstupní směsi. Důležitými parametry jsou rozteč kotoučů a otáčky hřídelů.



Obr. 7: Princip fungování kotoučového třídícího síta [35]

3.2.3 Vzduchový třídič

Pomocí vzduchového třídiče lze tříděný materiál rozdělit podle usazovací rychlosti, na lehkou a těžkou frakci. Princip spočívá v mísení proudu vzduchu s tříděným materiálem. Materiál je přiváděn dopravníkem, na jehož konci proudí ventilátorem hnaný vzduch. Odsud spolu se vzduchem odchází potrubím lehká frakce a těžká frakce padá dolů na dopravník. V další části potrubního systému dochází ke snížení rychlosti proudění vzduchu (např. pomocí rotačního ventilu) a lehká frakce také z třídiče odpadá na další dopravník. Vzduch poté pokračuje zpět do ventilátoru přes prachový filtr. Celý proces se opakuje. [12]



Obr. 8: Schéma vzduchového třídiče [12]

Metodika návrhu této technologie závisí především na usazovací rychlosti jednotlivých částic vstupní směsi a na jejich velikosti. Potrubí, kterým proudí vzduch, musí mít dostatečný průměr pro průchod lehkých částic o větších rozměrech. Nejdůležitějšími parametry jsou rychlost proudu vzduchu hnaného ventilátorem a míra snížení rychlosti proudění vzduchu rotačním ventilem.

Aby byly částice tříděného materiálu unášeny vzduchem, musí být rychlost proudu vzduchu vyšší, než usazovací rychlost částice. Pro výpočet usazovací rychlosti platí vztah: [32]

$$u = \sqrt{\frac{4 D(\rho_s - \rho)g}{3 C_D \rho}} \quad (3.2)$$

kde D = průměr částice, ρ_s = hustota materiálu částice, ρ = hustota vzduchu a C_D = odporový součinitel při obtékání kulové částice. Odporový součinitel C_D je funkcí Reynoldsova čísla:

$$Re = \frac{\bar{u}D\rho}{\mu} \quad (3.3)$$

kde μ = dynamická viskozita proudícího vzduchu a \bar{u} = střední rychlost proudění vzduchu.

Pro zjištění C_D je nezbytné analyzovat způsob obtékání ekvivalentních kulových částic. Z teorie dělení heterogenních směsí pomocí gravitace lze odvodit vztah: [32]

$$C_D Re^2 = \frac{4}{3} \frac{D^3(\rho_s - \rho)\rho g}{\mu^2} \quad (3.4)$$

V závislosti na výsledku vztahu 3.4 lze obtékání koule rozdělit na následující oblasti: [32]

a) Stokesova oblast: $C_D Re^2 < 48 \rightarrow C_D = 24/Re$

$$u = \frac{D^2(\rho_s - \rho)g}{18\mu} \quad (3.5)$$

b) Přechodová oblast: $48 < C_D Re^2 < 1,1 \cdot 10^5 \rightarrow C_D = 18,5/Re^{0,6}$

$$u = 0,153 \frac{D^{1,14}(\rho_s - \rho)^{0,71} g^{0,71}}{\rho^{0,29} \mu^{0,43}} \quad (3.6)$$

c) Newtonova oblast: $1,1 \cdot 10^5 < C_D Re^2 < 4 \cdot 10^{10} \rightarrow C_D = 0,44$

$$u = 1,74 \sqrt{\frac{D(\rho_s - \rho)g}{\rho}} \quad (3.7)$$

Problémovým jevem při třídění podle usazovací rychlosti může být tzv. soupádnost částic, kdy dvě částice o různé hustotě a velikosti mají stejnou usazovací rychlost. Tomuto jevu lze předejít výpočtem porovnávacích rovnic: [32]

a) Stokesova oblast: $D_1(\rho_{s1} - \rho) = D_2(\rho_{s2} - \rho)$

b) Přechodová oblast: $D_1^{1,6}(\rho_{s1} - \rho) = D_2^{1,6}(\rho_{s2} - \rho)$

c) Newtonova oblast: $D_1^2(\rho_{s1} - \rho) = D_2^2(\rho_{s2} - \rho)$

3.2.4 Vibrační síto

Pro třídění sypkých materiálů podle velikosti se využívají vibrační třídící síta. K separaci materiálu dochází propadnutím podsítné frakce otvory síta. Vibrační třídící zařízení mohou být vícesíťová, tudíž lze na jednom třídíči roztřídit materiál na více frakcí. Pokud je třeba

třídít mírně lepidý materiál, mohou být vibrační síta doplněny tzv. "oklepovými koulemi", které průběžně čistí plochu síta. Vibrační síta jsou drátěná nebo plechová s děrováním, v závislosti na vlastnostech tříděného materiálu. [17]



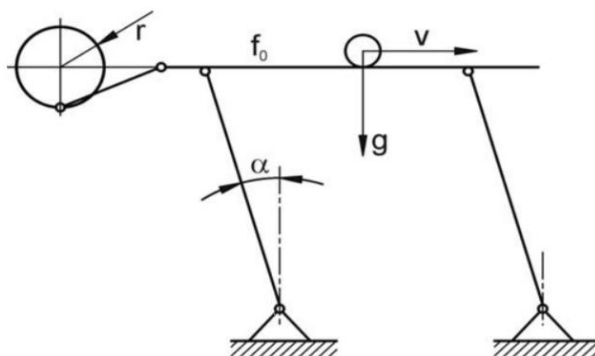
Obr. 9: Vícesítné vibrační síto [29]

Metodika návrhu této technologie se odvíjí od požadované velikosti roztříděného materiálu. V závislosti na tomto požadavku je navržen počet jednotlivých sít a velikost jejich otvorů. Při vyšší hmotnosti vstupního materiálu jsou potřeba silnější vibrace.

Minimální počet otáček mechanismu s harmonickým kmitavým pohybem potřebných pro dopředný pohyb částic lze vypočítat ze vztahu: [33]

$$n_{min} = \left(\frac{g}{\pi^2 r} * \frac{f_0}{1 + f_0 t g \alpha} \right)^{0,5} \quad (3.8)$$

kde f_0 = součinitel tření materiálu o síto, α = úhel sklonu síta, r = poloměr tříděné částice a g = tíhové zrychlení.



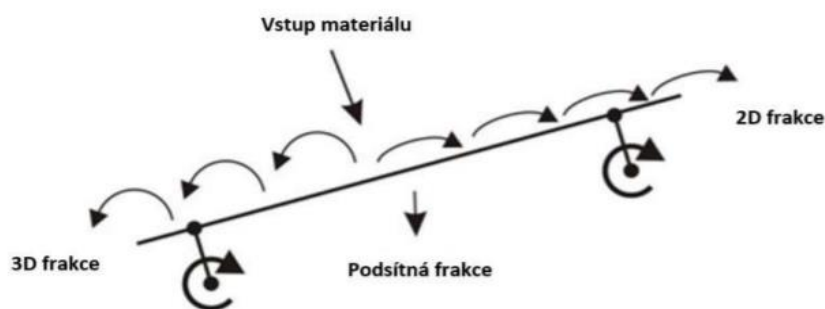
Obr. 10: Schéma vibračního tříděče [33]

3.2.5 Balistický třídíč

Pomocí tohoto zařízení lze třídit vstupní směs materiálu na tři frakce: [6]

- Těžká 3-D frakce – např. PET lahve, skleněné lahve, nápojové kartony, kovový šrot
- Lehká (plochá) 2-D frakce – papíry, folie, apod.
- Podsítná frakce – obvykle nečistoty a nevyužitelné látky o malých rozměrech

Principem funkce jsou kmitající podlouhlá síta, sklopená pod úhlem 10-20°. Síta jsou pomocí klikových hřídelů rozhýbána, kmitají ve vodorovném i svislém směru a sousední síta kmitají s odlišným fázovým posunem. Díky tomu je materiál v třídíči neustále nadhazován. [4]



Obr. 11: Schéma balistického třídíče [4]

Tři různé frakce dopadají na síta po jiné trajektorii, čímž je způsoben jejich rozdílný pohyb po třídíči. Podsítná frakce propadá otvory v sítích, 2-D se posouvá směrem vzhůru a 3-D se valí směrem dolů. Frakce jsou dále dopravníky přesouvány pro další zpracování nebo skladování. [4]

Metodika návrhu této technologie se odvíjí od velikosti jednotlivých částic vstupního materiálu a jejich hmotnosti. Čím je frakce těžší, tím rychleji musejí klikové hřídele rotovat.



Obr. 12: Balistický třídič [5]

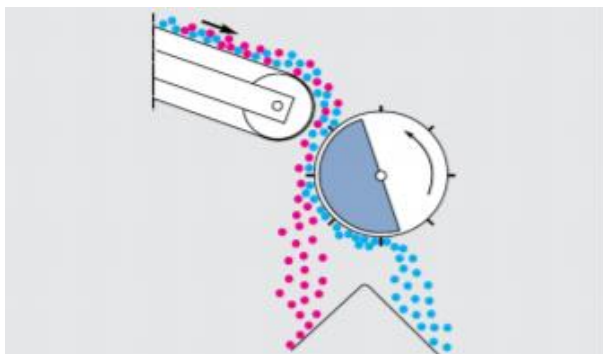
3.2.6 Bubnové magnetické separátory

Bubnový separátor je vhodným zařízením pro odstranění feromagnetických nečistot (v následujících obrázcích mají modrou barvu) z velkého množství odpadní suroviny. Výhoda tohoto zařízení spočívá v přímém kontaktu separovaného materiálu se separačním magnetem a v automatické separaci. Součástí bubnového separátoru je permanentní magnetický válec, který je obvykle vyroben z feritů nebo velmi silných magnetů na bázi kovů vzácných zemin – neodymové magnety (NdFeB). [1]

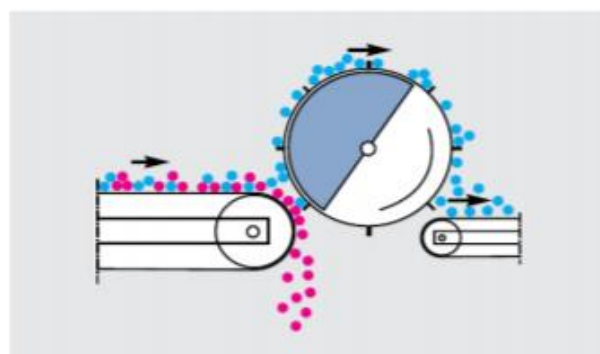
Metodika návrhu této technologie závisí na tloušťce vrstvy vstupní směsi a hmotnosti jednotlivých částic, podle nichž se volí síla magnetu. Pro menší vrstvy se hodí feritové magnety a pro větší se hodí neodymové magnety. Důležitým parametrem jsou otáčky bubnu. Je nutné vhodně umístit dopravníky a skladovací nádoby pro výstupní materiál za magnetické separátory.

Typy bubnových magnetických separátorů [1]

- **Bubnové magnety** - Magnetický systém se skládá z magnetického sektoru s úhlem 180°, kolem kterého se otáčí buben z nerezové oceli. V případě třídicí linky je buben umístěn za dopravníkem.

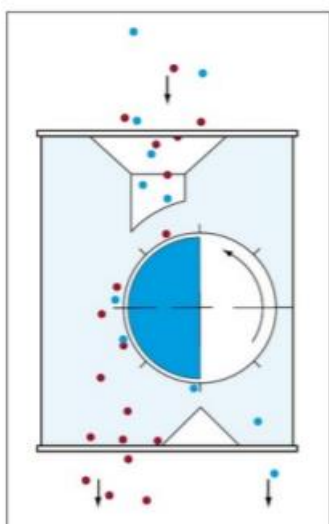


Obr. 13: Bubnový magnet č. 1 [1]

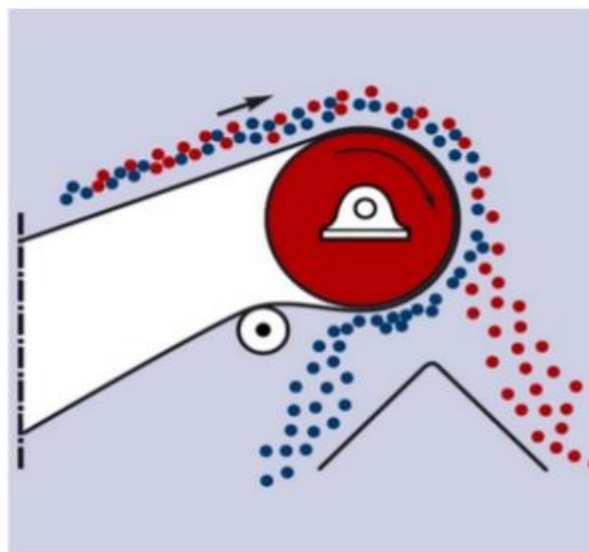


Obr. 14: Bubnový magnet č. 2 [1]

- **Bubnové magnety s krytováním** - Jedná se o bubnový magnet umístěn v krytu, s pohonem a výstupem pro surovinu očištěnou od feromagnetických nečistot a výstup pro feromagnetický materiál. Instalují se za dopravníkové pásy.
- **Magnetické hnací válce** - Systém se skládá z plného magnetického sektoru s úhlem 360°. Je použit namísto hnacího systému pásového dopravníku.



Obr. 15: Bubnový magnet s krytováním [1]



Obr. 16: Magnetický hnací válec [1]

3.2.7 Závěsné separátory s permanentními magnety

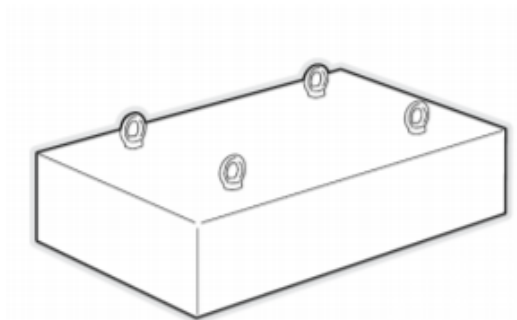
Tyto separátory disponují dostatečně hlubokým magnetickým polem pro odstranění feromagnetických nečistot i z větších hloubek odpadní směsi. Umisťují se nad dopravníkový pás.

Metodika návrhu této technologie závisí na tloušťce vrstvy vstupní směsi a hmotnosti jednotlivých částic. Důležitým parametrem je síla magnetů. Stejně jako u bubnových

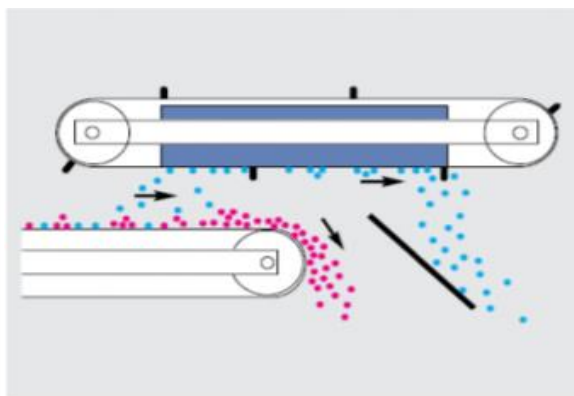
magnetických separátorů je u závěsných separátorů vhodné volit feritové magnety pro menší vrstvy a neodymové pro větší. Rychlost dopravníku pod magnety nesmí být příliš vysoká pro správnou účinnost separace. Podle vrstvy tříděného materiálu a síly magnetu je nutné volit vhodnou instalační výšku magnetických separátorů.

Typy závěsných magnetických separátorů [1]

- **Blokové magnety** - Tento typ magnetického separátoru se hodí pro čištění odpadní směsi s nízkou frekvencí výskytu feromagnetických nečistot, protože vyžaduje ruční čištění. Blokový magnet je statický, tedy bez čistícího pásu.
- **Závěsné pásové separátory** - Jedná se o samočištěcí magnetický separátor s permanentními magnety. Samočištění probíhá díky vlastnímu pásovému dopravníku, jímž je separátor vybaven. Používá se pro čištění odpadní směsi s vysokým výskytem feromagnetických nečistot. Pásový dopravník vynáší zachycené nečistoty do sběrné nádoby nebo na další dopravní systém.



Obr. 17: Blokový magnet [1]



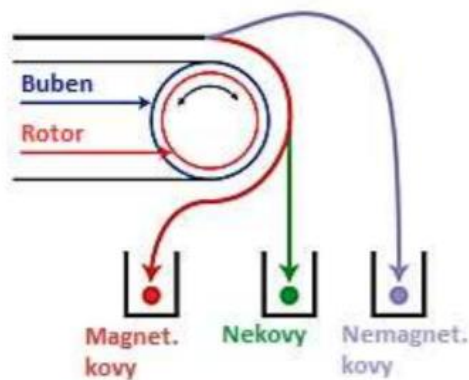
Obr. 18: Závěsný pásový separátor [1]

- **Závěsné pásové separátory a bubnové separátory s elektromagnetem** - Užívají se pro separaci větších feromagnetických kusů. Elektromagnetem lze separovat kovy z materiálů jako je uhlí, vápenec, písek, a další. Magnetické pole v těchto zařízeních je generované cívkou napájenou stejnosměrným elektrickým proudem. Elektromagnet používá hliníkové nebo měděné vodiče. Schematicky se elektromagnetická zařízení téměř neliší od magnetických.

3.2.8 Separace pomocí vířivých proudů

Tato metoda slouží pro oddělení magnetických a nemagnetických kovů od odpadní směsi. Vířivé proudy vznikají v elektrických vodičích, pokud se v jejich okolí mění magnetický indukční tok. Podobně jako u výše popsaného magnetického hnacího válce jsou v hnacím bubnu dopravníku umístěny silné permanentní magnety. Magnety se nachází na rotoru, který se otáčí vysokou rychlostí nezávisle na bubnu. Díky tomuto jevu vzniká magnetické pole s proměnnou indukcí, které i v nemagnetických kovech indukuje vířivé elektrické proudy. Vzniká odpuzivá magnetická síla, která „odhazuje“ nemagnetické kovy do větší vzdálenosti než nekovové materiály, které padají volným pádem. Magnetické kovy opouští dopravník později než nekovy vlivem přitažlivé magnetické síly. [12]

Metodika návrhu této technologie záleží na tloušťce vrstvy materiálu a jeho hmotnosti, se kterými by měla korespondovat síla permanentního magnetu a nosnost dopravníku. Podle charakteristiky vstupní směsi je potřeba vhodně zvolit otáčky bubnu a rotoru a rychlost dopravníku. Zásobníky nebo dopravníky pro výstupní materiál musí být vhodně umístěny, aby materiál nepadal na zem.



Obr. 19: Separátor využívající vířivých proudů [12]

3.2.9 Automatické NIR optické třídící zařízení

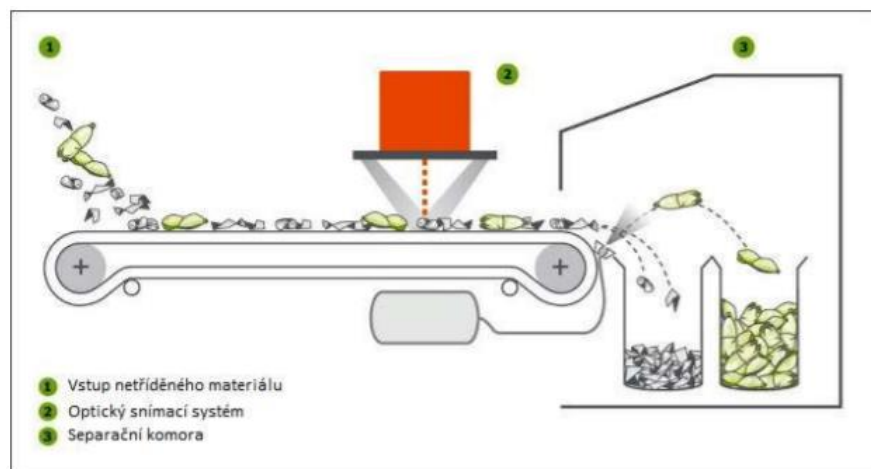
Primární využití tohoto zařízení spočívá v třídění smíšeného plastového odpadu ze vstupní směsi. Skládá se ze dvou částí: [12]

- **Snímací systém** – Vysílá elektromagnetické záření na procházející materiál, které je částečně pohlceno materiálem a částečně odraženo do snímače. Materiál je rozdělen na základě adsorpce elektromagnetického záření do určitých kategorií.

Snímací systémy se dále dělí podle použitých snímačů. Mezi nejčastěji používané snímače patří:

- **VIS (Visible) snímač** – Vysílá záření o vlnové délce cca 390-760 nm, jehož odraz závisí na barvě snímaného předmětu.
- **NIR (Near Infrared) snímač** – Vysílá infračervené záření o vlnové délce cca 760-2500 nm, jehož odraz závisí na chemickém složení snímaného materiálu.
- **Akční člen** – Vykonává rozdělení tříděné směsi. Obvykle jím bývá vzduchová tryska.

Metodika návrhu této technologie spočívá ve volbě vhodného snímače na základě odrazivosti a barvy tříděného materiálu. Vzhledem k nehomogenitě tříděné směsi je vhodné volit snímač s vysokým rozsahem vlnové délky. Důležitým voleným parametrem je rychlost dopravy materiálu pod snímačem, která nesmí být příliš vysoká. Volba síly proudu vzduchu se odvíjí od vztahů popsanych v podkapitole 3.2.3. Zásobníky nebo dopravníky pro výstupní materiál musí být vhodně umístěny, aby materiál nepadal na zem.



Obr. 20: NIR optický třídící systém [12]

4. Laboratorní zařízení pro linku na třídění biomasy

Tato kapitola se věnuje zařízením pro třídící linku v laboratorním měřítku zvolených na základě popisů jednotlivých třídících technologií v kapitole 3. Některá z těchto zařízení budou následně využita pro koncepční návrh třídící linky, v závislosti na charakteru tříděného materiálu.

4.1 Detektor kovů Thermofisher APEX 500 HD

Tento detektor je vhodný pro čištění biomasy s malou hustotou kovových nečistot a je schopen detekovat neželezné i železné kovy. Je vybaven vlastním pásovým dopravníkem o šířce 70 cm. Pokud je ve vstupní směsi uvnitř detektoru přítomen kov, aktivuje se hrablo a odsune hmotu mimo dopravník. Výhodou detektoru a jeho příslušenství je odolnost vůči vibracím, snadná čistitelnost a odolnost proti žíravým látkám. Třídící kapacita detektoru dosahuje až 500 kg/h. Velikost tříděného materiálu je limitovaná pouze šířkou dopravníkového pásu a navazujícími prvky třídící linky. [13]

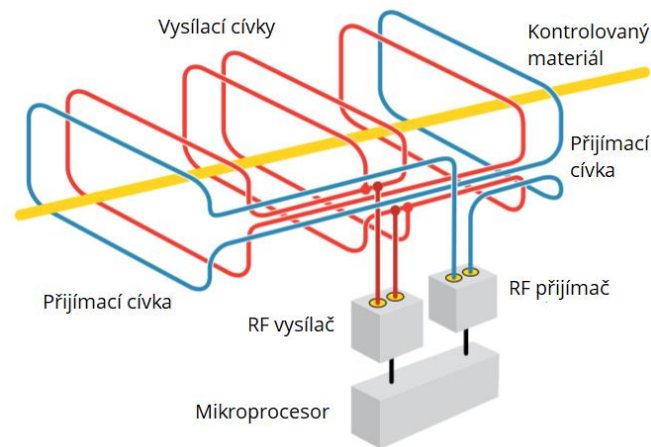


Obr. 21: Detektor kovu Thermofisher APEX 500 HD s příslušenstvím [13]

Princip fungování detektoru

Uvnitř detektoru jsou cívky navinuté na nekovovém rámu, který je připojen k vysokofrekvenčnímu vysílači. Pokud detektorem projde kovová část, dojde k narušení vysokofrekvenčního pole pod jednou z cívek a změní se na ní napětí. Dojde ke změně

výstupního signálu a aktivuje se hrablo umístěné za detektorem, které odsune nežádoucí hmotu mimo dopravník. [14]



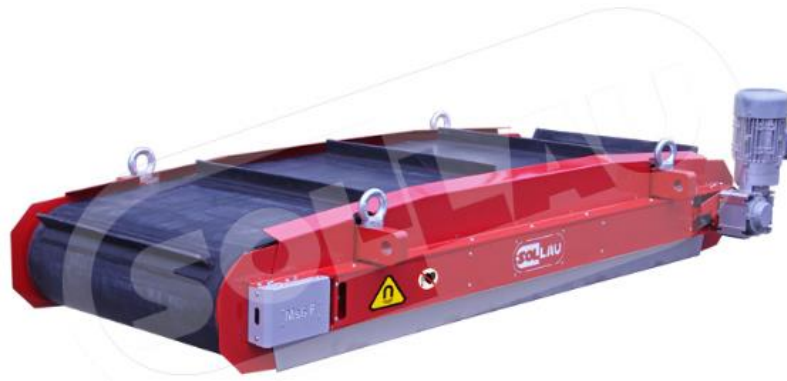
Obr. 22: Princip fungování detektoru kovu [13]

4.2 Magnetický válec a deska s automatickým čištěním Sollau

Kombinace těchto zařízení je vhodná pro čištění biomasy s vysokou hustotou výskytu feromagnetických nečistot. Magnetická deska je umístěna nad pásovým dopravníkem a magnetický válec tvoří konec dopravníku (principy fungování těchto zařízení jsou popsány v podkapitolách 3.2.6 a 3.2.7). Magnetická deska odstraní feromagnetické látky z horní vrstvy vstupní směsi a magnetický válec ze spodní.

Magnetické desky

Pro zachycení větších feromagnetických částic (nad 1 mm) je vhodné použít feritovou magnetickou desku. Instalační výška feritových desek je 130 – 400 mm. Pro zachycení malých feromagnetických částic (menší než 1 mm) se využívají neodymové magnetické desky (NdFeB). Instalační výška je 200 – 300 mm. Deska je vyrobená z nerezové oceli. Rozměry magnetické desky jsou přizpůsobeny požadavkům zákazníka. [15]



Obr. 23: Magnetická deska s automatickým čištěním SOLLAU [15]

Magnetické válce

Výrobce doporučuje osazení magnetických válců neodymovými magnety a dodává válce na míru podle pásových dopravníků. Magnetické pole válce dosahuje výšky až 100 mm. Válec je vyroben z nerezové oceli. [18]



Obr. 24: Magnetický válec SOLLAU [18]

Třídící kapacita těchto magnetických třídíčů se odvíjí od rychlosti dopravníku. Maximální dosažitelná kapacita je přibližně 2 t/h.

4.3 Meyer Rock 120Li NIR třídíč

Princip fungování tohoto třídíče je popsán v podkapitole 3.2.9. Pomocí infračerveného záření detekuje plasty a hliník ve vstupní směsi a následně je pomocí hrabla odstraní. Zařízení funguje s účinností 90% až 96%. Výrobce doporučuje velikost částic ve vstupní směsi 4 až 18 mm. Třídíč dokáže při nejvyšších rychlostech zpracovat až 2 tuny materiálu za hodinu, ale pro správnou efektivitu třídění výrobce doporučuje zpracovávat přibližně 500 kg/h. [16]



Obr. 25: NIR třídič Meyer Rock 120Li [16]

4.4 Rotační bubnový separátor CIMBRIA HEID

Zařízení pracuje na principu popsaném v podkapitole 3.2.1. Zařízení dělí jakýkoli suchý partikulární materiál na dvě frakce podle velikosti. Stroj je vhodný pro kontinuální i dávkové zpracování. Třídič disponuje násypkou s automatickým podáváním, sběrnou násypkou a pohonem s variabilními otáčkami. [30]

Zařízení je schopné zpracovat až 300 kg tříděného materiálu za hodinu. Velikost vytříděné frakce se odvíjí od průměru otvorů ve stěně bubnu v rozsahu 1 až 10 mm. [30]

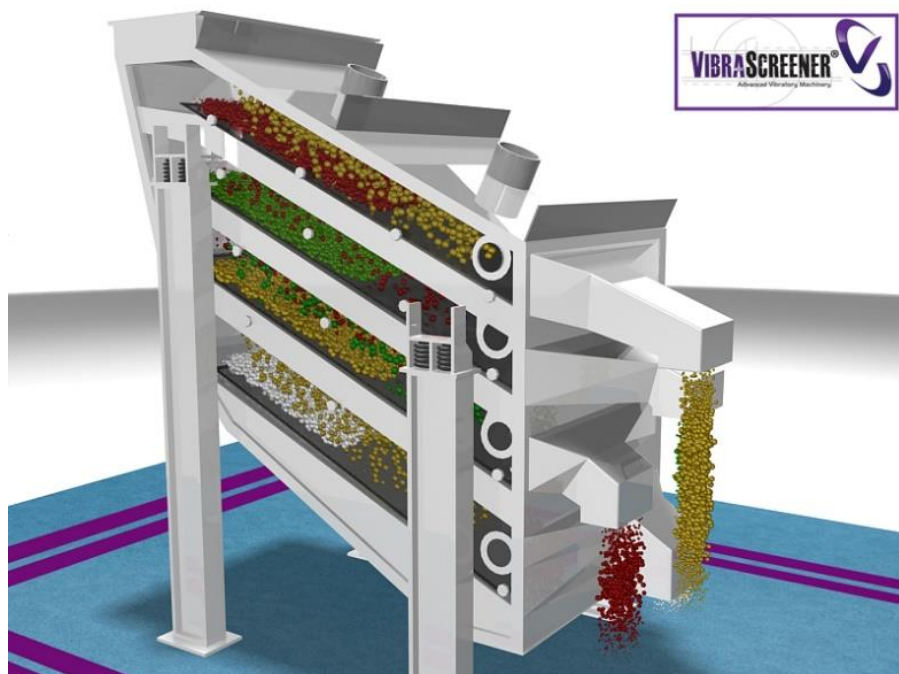


Obr. 26: Laboratorní rotační třídič CIMBRIA HEID [30]

4.5 Vibrační síto BISON SEPARATOR

Pokud je třeba zajistit třídění materiálu na menší frakce, než umožňuje třídič z kapitoly 4.4, je vhodné použít toto vibrační síto. Zařízení pracuje na principu popsaném v podkapitole 3.2.4. Disponuje automatickým podávacím systémem, který rovnoměrně dopravuje tříděný materiál na síto. Pro jednoduché aplikace se používá třídič pouze s jedním sítem. V případě potřeby je možné nainstalovat až čtyři síta pod sebe, která lze dle potřeby měnit. [26]

Zařízení umožňuje třidit jakýkoli suchý partikulární materiál podle velikosti. Kapacita třídiče v laboratorním měřítku se pohybuje od 500 kg do 2 tun za hodinu, podle typu tříděného materiálu. [26]



Obr. 27: Vícesítné vibrační síto BISON SEPARATOR [26]

4.6 Gravitační separátor CIMBRIA HEID

Využití tohoto separátoru spočívá ve vytřídění kameniva a zeminy ze vstupní směsi. Třídič je vybaven obdélníkovým sítem s vhodnou velikostí otvorů pro danou tříděnou směs. Vstupní materiál je automatickým podávacím systémem dopraven na síto, kde je vlivem vibrací, sklonu síta a proudu vzduchu ze spodní části rozdělen podle usazovací rychlosti. Pohyb těžké frakce je zajištěn harmonickým kmitavým pohybem pláště, stejně jako u vibračního síta. Skladovací nádoby na třídiči mohou být odstraněny, aby výstupní materiál padal na dopravník. [30]

Separátor disponuje vyměnitelnými sítmi s různou velikostí otvorů. Umožňuje třídit jakýkoli suchý partikulární materiál. Kapacita zařízení je až 300 kg/h. [30]

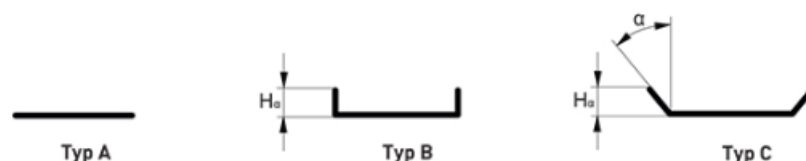


Obr. 28: Gravitační separátor CIMBRIA HEID [30]

4.7 Pásové dopravníky GUMEX

Nutnou součástí třídící linky jsou pásové dopravníky, jejichž princip je popsán v podkapitole 3.1.1. Výrobce dodává dopravníky s přizpůsobitelnou nosnou konstrukcí a sklonem, včetně gumového pásu, elektromotoru a elektroinstalace. Nosná konstrukce se skládá z hliníkových profilů. Pohonnou jednotku tvoří třífázový asynchronní elektromotor a šneková převodovka. Pomocí frekvenčního měniče lze regulovat otáčky elektromotoru. Pás může být vybaven unašeči a vodícími klínky. Poloha umístění motoru, tvar podkladového plechu pod pásem a podstava dopravníku může být upravena dle požadavku zákazníka. V případě instalace hnaného magnetického válce lze dopravník také přizpůsobit. [18]

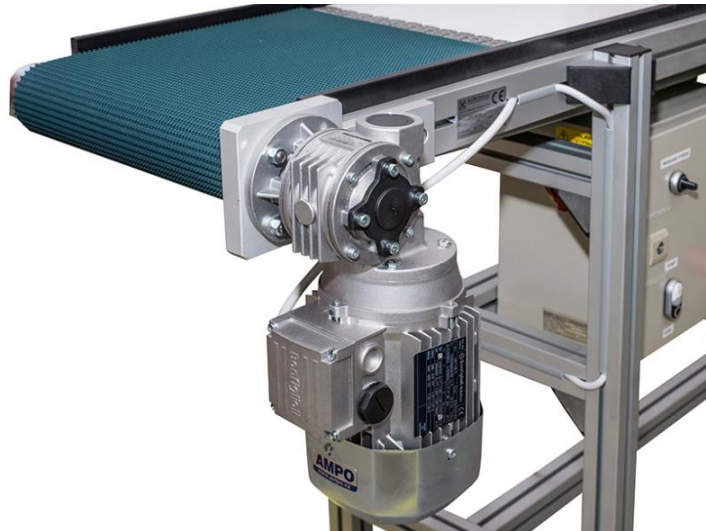
Existují tři typy dodávaného podkladového plechu:



Obr. 29: Typy podkladového plechu pod pásem [18]

Pro dopravu materiálu po třídící lince je vhodný typ B nebo C.

Standardní průměry dodávaných válců jsou 50, 65 a 96 mm. Maximální dostupná délka dopravníku je 12 m a maximální šířka pásu 1 m. Dopravníkové pásy dosahují rychlosti max. 60 m/min. [18]



Obr. 30: Pásový dopravník GUMEX [18]

5. Návrh laboratorní třídící linky

V této kapitole je vypracovaný návrh třídící linky skládající se z vybraných laboratorních zařízení z kapitoly 4. Linka je schopna plně automaticky třídit definovaný druh biomasy s určitými typy příměsí.

5.1 Vstupní materiál

Zvolená směs materiálu, pro jejíž třídění bude linka navržena má následující složení:

- dřevní štěpka (93 % hm.) – lesní štěpka ze zbytků po těžbě (větvě, zbytkové části kmenů, pilařské odřezky, kůra, jehličí, listí, maximální velikost cca 5 cm. Přibližně 25 % dřevní štěpky zastupuje frakce menší než 10 mm.
- hrubozrnná zemina „hrubozrnný štěrk“ (5 % hm.)
- hrubozrnná zemina „hrubozrnný a střednězrnný písek“ (1,8 % hm.)
- kov (0,2 % hm.) – matice, šrouby, kousky špon, zuby řetězu motorové pily apod.

Rychlost dávkování vstupní směsi do třídící linky je 100 kg/h. Vzhledem k nepravidelnosti tvarů jednotlivých částic je velikost frakcí charakterizovaná nejdelším rozměrem.

Následující tabulka obsahuje klasifikaci zemin dle velikosti zrn podle normy ČSN EN ISO 14688-1.

Tabulka č. 1: Klasifikace zemin [31]

Skupiny zemin	Frakce	Značka	Velikost zrn [mm]
Velmi hrubozrnná zemina	Velký balvan	LBo	Od 630
	Balvan	Bo	Od 200 do 630 včetně
	Valoun	Co	Od 63 do 200 včetně
Hrubozrnná zemina	Štěrk	Gr	Od 2,0 do 63 včetně
	Hrubozrnný štěrk	CGr	Od 20 do 63 včetně
	Střednězrnný štěrk	MGr	Od 6,3 do 20 včetně
	Jemnězrnný štěrk	FGr	Od 2,0 do 6,3 včetně
	Písek	Sa	Od 0,063 do 2,0 včetně
	Hrubozrnný písek	CSa	Od 0,63 do 2,0 včetně
	Střednězrnný písek	MSa	Od 0,2 do 0,63 včetně
	Jemnězrnný písek	FSa	Od 0,063 do 0,2 včetně
Jemnozrnná zemina	Prach	Si	Od 0,002 do 0,063 včetně
	Hrubozrnný prach	CSi	Od 0,02 do 0,063 včetně
	Střednězrnný prach	MSi	Od 0,0063 do 0,02 včetně
	Jemnozrnný prach	FSi	Od 0,002 do 0,0063 včetně
	Jíl	CI	Do 0,002 včetně

5.2 Popis technologie třídící linky

Zkratky a označení v této podkapitole odkazují na **přílohu č. 1 – PFD schéma třídící linky** (PFD = Process Flow Diagram neboli proudové technologické schéma), kde jsou označena jednotlivá zařízení a proudy materiálu. Principy fungování zařízení jsou popsány, popř. je na ně odkázáno v kapitole č. 4. Grafická značení zařízení odpovídají normě ČSN EN ISO 10628. Písmenná a číselná označení zařízení jsou uvedena podle zdroje [34]. Pro návrh zpracovatelské linky byla zvolena zařízení z podkapitol 4.1, 4.5, 4.6, 4.7 a dezintegrační zařízení, které vzhledem k zaměření práce není detailně specifikováno. Následující odstavce popisují procesy v třídící lince v chronologickém pořadí. Linka pracuje za teploty 20 °C a za standartního atmosférického tlaku, tj. 101,325 kPa.

Pokud by tříděný materiál obsahoval plastové částice, bylo by možné pro jejich odstranění do třídící linky zapojit NIR třídič z podkapitoly 4.3.

Vstup

Linka začíná válcovou nádobou K – 110 uzavřenou turniketovým dávkovačem. Tato nádoba má kapacitu na 4 hodiny provozu bez nutnosti doplňování materiálu. Dávkovačem vypadává vstupní materiál na pásový dopravník GUMEX H – 111 (proud 1).

Separace hrubozrnného štěrku

Částice hrubozrnného štěrku mohou být až 6 cm veliké, čímž je značně zkomplikovaná jejich odlučitelnost v gravitačním třídíči F – 116. Z tohoto důvodu je vhodné štěrk ručně odebrat z dopravníku H – 111. Odebraný štěrk je skladován v kontejneru K – 112 (proud 2).

Pásový dopravník je 1 m dlouhý a 30 cm široký. Rychlost dopravníku je 0,05 m/s, tudíž se materiál dostane ze začátku na konec dopravníku za 20 vteřin. Za 20 vteřin dopravník přepraví v přepočtu 28 g hrubozrnného štěrku. Na spolehlivé odstranění štěrku z jedné dávky by tedy mělo jednomu pracovníkovi 20 vteřin stačit.

V průmyslové aplikaci by pro třídící linku standardní velikosti bylo vhodné pro tuto separaci využít vzduchový třídíč popsaný v podkapitole 3.2.3. Pro linku v laboratorním měřítku z ekonomického hlediska a z důvodu malého množství tříděného materiálu vyhovuje ruční třídění.

Separace kovů

Dopravníkem H – 111 materiál bez hrubozrnného štěrku vstupuje do detektoru kovu F – 113 APEX 500 HD (proud 3). Pásový dopravník je použitý z důvodu horizontálního proudu materiálu detektorem. Odloučený kov je z detektoru gravitačním skluzem dopraven do kontejneru na kovy K – 114 (proud 4). Po výstupu materiál pokračuje na pásový dopravník GUMEX H – 115 (proud 5).

Separace písku

Pomocí dopravníku H – 115 vstupuje materiál bez přítomnosti kovů do gravitačního třídíče CIMBRIA HEID F – 116 (proud 6), který vytřídí ze směsi hrubozrnný a střednězrnný písek. Zde je opět vhodné použít pásový dopravník vzhledem k horizontálnímu vstupu do gravitačního třídíče. Po výstupu je písek gravitačním skluzem dopraven do kontejneru K – 117 (proud 7).

Třídění podle velikosti

Bezprostředně po výstupu z třídiče F – 116 vstupuje dřevní štěrka gravitačním skluzem do násypky vibračního síťového třídiče BISON SEPARATOR F – 118 (proud 8). Sítem propadá frakce menší než 10 mm a s využitím gravitačního skluzu je dopravena do kontejneru K – 119 (proud 9).

Dezintegrace dřevní štěrky

Z výsypky třídiče F – 118 je zbylá dřevní štěrka o velikosti větší než 10 mm gravitačním skluzem dopravena do násypky mlýnu Z – 120 (proud 10), který je vybavený sítem. Jakmile je materiál dezintegrován na velikost menší než 10 mm, propadá sítem a je dopraven gravitačním skluzem do kontejneru K – 119 (proud 11).

5.3 Výstupní materiál

Výstupním materiálem je dřevní štěrka o velikosti menší než 10 mm, která se primárně využívá pro výrobu briket a pelet pro zplyňování nebo přímé spalování. Dále lze nestlačenou štěrku využít např. pro výrobu dřevotřískových desek nebo pro topení v malých domácích kotlích. Výhřevnost dřevní štěrky je 8 – 15 MJ/kg. Ostatní odloučené materiály mohou být nadále recyklovány.

6. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout linku pro třídění určitého typu odpadní biomasy pro její následné zpracování. Na základě rešerše byla zvolena laboratorní zařízení, která byla následně vhodně zařazena do třídící linky a vyobrazena v PFD schématu. Práce popisuje technologii linky a její provozní sestavení.

První část práce obsahuje průmyslovou a literární rešerši o způsobech zpracování a dělení biomasy. Významem této rešerše je rozšíření základního povědomí o biomase jako o obnovitelném zdroji energie, který každoročně nabývá na důležitosti a využití. Laikovi může být pojem biomasa z odborného hlediska téměř cizí, tudíž je přínos klasifikace forem a využití biomasy v této části práce značný.

Dále byla zpracována průmyslová a literární rešerše poskytující bližší náhled do principů fungování zařízení využívaných na komerčních třídících linkách. Rešerši lze využít pro vhodné nastavení akčních veličin při návrhu jednotlivých třídících procesů.

Primární význam automatického a poloautomatického třídění spočívá v šetření pracovních sil, a také v urychlení a modernizaci procesů ve zpracovatelském průmyslu. Separaci nežádoucích materiálů z biomasy je možné předejít nákladným škodám na procesních zařízeních, ve kterých může být biomasa zpracována. Třídění biomasy je nezbytné pro správný průběh tepelných a chemických procesů, pro které je biomasa vstupní surovinou.

Navržená třídící linka zpracuje přibližně 100 kg dřevní štěpky s příměsemi za hodinu. Slouží především pro vytřídění kovů a kameniva ze vstupní směsi a úpravu štěpky na velikost menší než 10 mm. Skládá se z dávkovací nádoby pro vstupní směs, skladovacích kontejnerů pro jednotlivé frakce, detektoru kovů, gravitačního separátoru, vibračního třídícího síta a mlýnu. Materiál je po lince dopravován pomocí pásových dopravníků a gravitačních skluzů. Uspořádání a parametry jednotlivých zařízení jsou uvedené v PFD schématu. V tomto schématu jsou dále popsány hmotnostní proudy složek tříděného materiálu mezi jednotlivými prvky linky. Navrženou třídící linku je možné využít pro laboratorní účely, např. pro přípravu dřevní štěpky pro různé experimenty zkoumající její faktory a využití. Dále lze linku využít k úpravě lesního odpadu pro výrobu briket nebo pelet, které mohou být použity např. pro přímé spalování nebo zplyňování. Po určitých úpravách sestavení by bylo možné linku využít i pro třídění jiných vstupních směsí.

7. Seznam použitých veličin a jednotek

Použité veličiny

α	úhel sklonu	[°]
C_D	odporový součinitel	[-]
D	průměr částice	[mm]
f_o	součinitel tření	[-]
g	gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]
n_{min}, n_{krit}	minimální, kritické otáčky	[min ⁻¹]
pH	kyselost	[-]
ρ	hustota vzduchu	[kg.m ⁻³]
ρ_s	hustota materiálu částice	[kg.m ⁻³]
R	poloměr částice	[mm]
Re	Reynoldsovo číslo	[-]
u	usazovací rychlost	[m.s ⁻¹]

8. Seznam použité literatury

- [1] KŘUPKA, Jiří. *Magnetický separátor*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [2] Deostech s.r.o., Řetězové dopravníky [online]. [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: http://www.deostech.cz/elevatory_dopravniky/retezove_dopravniky
- [3] OCHODEK, Tadeáš, Jan KOLONIČNÝ a Pavel JANÁSEK. *Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy* [online]. [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/potencial_biomasy_d_ruhy_bilance_a_vlastnosti_paliv_z_biomasy.pdf
- [4] Tinsley Company, Ballistic separators [online]. [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <https://www.tinsleycompany.com/recycling/ballistic-separators/>
- [5] Machinex Industries Inc., Mach ballistic separators [online]. [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <http://www.machinexrecycling.com/products/mach-ballistic-separators/>
- [6] Parini S.R.L., Ballistic separator [online]. [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <http://www.parinisrl.it/en/portfolio/ballistic-separator/>
- [7] Bluetech s.r.o., Ostatní stroje [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <http://www.bluetech.cz/ostatni-stroje>
- [8] MEDEK, Jaroslav. *Mechanické pochody*. Vyd. 3. přeprac. Brno: PC-DIR, 1998. ISBN 80-214-1264-X.
- [9] Parini S.R.L., Drum screen [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <http://www.parinisrl.it/en/portfolio/drumscreen/#more-1085>
- [10] Odes s.r.o., Rotační třídíče [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://www.odes.cz/galerie/tridice/rotacni-tridice>
- [11] Odes s.r.o., Hvězdicové třídící síto [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: <http://www.odes.cz/galerie/tridice/hvezdicove-tridici-sito>
- [12] GUŠTARA, Dominik. *Efektivní návrh a provoz třídící linky jako prvek komplexního odpadového řetězce*. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [13] Fisher Scientific s.r.o, APEX 500/300 HD Metal Detector [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/APEXHD?SID=srch-srp-APEXHD>
- [14] RIES, Bob. *How do food safety metal detectors and X-Ray inspection systems work?* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://www.thermofisher.com/blog/food/how-do-food-safety-metal-detectors-and-x-ray-inspection-systems-work/>

- [15] SOLLAU s.r.o., Magnetická deska s automatickým čištěním [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: https://www.sollau.cz/katalog/cs-i10-magneticka-deska-s-automatickym-cistenim-dnd-ac.html?gclid=CjwKCAjwoKDXBRAAEiwA4xnqv9LVOJF6bU9NM_ca820zArnVWbVEMGJKlxLAVc1TRqsJETIK86N3AhoClwIQAvD_BwE
- [16] Meyer Recycling Technology Limited, Rock 12Li NIR Sorter [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <http://www.shmeyer.com/products/rock-120li-nir-sorter-for-pet-pvc-flake-separation/>
- [17] Deostech s.r.o., Separátory, třídače. [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <http://www.deostech.cz/separatory-tridice/tridice>
- [18] SOLLAU s.r.o., Magnetický válec MV [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: https://www.sollau.cz/katalog/cs-i11-magneticky-valec-mv.html?gclid=CjwKCAjww6XXBRByEiwAM-ZUIJluUlhElmUsZSCyXNomlOeiZhOGy6LB5tzaCtrWuHmzqj_Z0mWzzxoC9X8QAvD_BwE
- [19] SLADKÝ, Václav. *Farmářské bioplynové stanice v Rakousku* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/farmarske-bioplynovne-stanice-v-rakousku>. ISSN: 1801-2655.
- [20] KRÁTKÝ, Lukáš a Tomáš JIROUT. *Moderní trendy předúprav biomasy*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2015. ISBN 978-80-01-05720-9.
- [21] PASTOREK, Zdeněk, Jaroslav KÁRA a Petr JEVIČ. *Biomasa obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC PUBLIS s.r.o., 2004. 288 s. ISBN 80-86534-06-5.
- [22] MAREK, Jakub. *Zpracování biomasy pro přímé spalování*. 2011. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- [23] POHOŘELÝ, Michael a Michal JEREMIÁŠ. *Zplyňování biomasy - možnosti uplatnění* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/zplynovani-biomasy-moznosti-uplatneni>
- [24] Autor neznámý. *Biomass gasification* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://biomasspower.gov.in/document/download-leftside/Biomass%20gasification.pdf>
- [25] POHOŘELÝ, Michael. *Termochemická konverze pevných paliv* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://cpga.cz/files/prednasky/1401%20CEZ.pdf>
- [26] Vibrascreener Inc., Vibrating Screen Separator [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://vibrascreener.com/bison-separator/>
- [27] Autor neznámý. *Composting* [online]. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.r-e-a.net/renewable-technologies/composting>

- [28] Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, *Energie biomasy* [online]. [cit. 2018-05-19].
Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_14.pdf
- [29] Direct Industry, Circular vibrating screener. [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z:
<http://www.directindustry.com/prod/metso-corporation/product-9344-1293775.html>
- [30] Bratney Companies, *Laboratory seed cleaners* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z:
https://www.bratney.com/media/cms/seed_processing_laboratory_seed_cle_8FB8BF45D0722.pdf
- [31] ČSN EN ISO. *Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zatřídování zemin - Část 1: Pojmenování a popis.*
- [32] RIEGER, František, Václav NOVÁK a Tomáš JIROUT. *Hydromechanické procesy I.* V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2007dotisk. ISBN 978-80-01-03286-2.
- [33] RIEGER, František, Václav NOVÁK a Tomáš JIROUT. *Hydromechanické procesy II.* Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN ISBN 80-01-03302-3.
- [34] ROUŠAR, Ivo. *Projektové řízení technologických staveb.* Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2602-1.
- [35] Günther Anlagenbau GmbH, MULTISTAR star – screen [online]. [cit. 2018-06-03].
Dostupné z: <https://www.albg.eu/en/products/multistar-star-screen.html>