

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Diplomová práce

Návrh energetického využití směsi odpadního plastu

Autor práce: Bc. Matěj Blažek

Vedoucí práce: doc. Ing. Jan Malat'ák, Ph.D.

2019 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Matěj Blažek

Technika a technologie zpracování odpadů

Název práce

Návrh energetického využití směsi odpadního plastu

Název anglicky

Design of energy utilization of waste plastic mixture

Cíle práce

Cílem diplomové práce je seznámit se s problematikou zpracování a energetickým využitím sběrového plastu. Uskutečnit tepelně-emisní analýzu vybraných vzorků. Navrhnout energetické využití směsi odpadního plastu pro spalovací zařízení a navrhnout inovaci technologické linky. Zhodnotit výsledky měření a ekonomicky posoudit využití vybraných vzorků.

Metodika

Metodika práce vychází z určených klasifikačních, jakostních a specifikačních rámců odpadů pro energetické účely a charakteristiky souvisejících právních předpisů, technologie termického zpracování a legislativních podmínek zpracování a využití paliv z odpadů.

Praktická část práce zahrnuje uskutečnění prvkové a stechiometrické analýzy vybraných směsí vzorků odpadního plastu. Po zhodnocení technologie termického zpracování vybraných odpadů následuje zhodnocení tepelně-emisních a ekonomických ukazatelů.

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Charakteristika zdrojů odpadního plastu
4. Technologie a technika zpracování a energetického využití odpadního plastu
5. Měření a dosažené výsledky
6. Závěr
7. Seznam literatury
8. Přílohy

Doporučený rozsah práce

40 – 50

Klíčová slova

Prvkový rozbor, výhřevnost, stechiometrie, separace, emise

Doporučené zdroje informací

- Chotěborský, R. Nauka o materiálu. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2011. ISBN 978-80-213-2236-3.
- Malaťák, J.; Jevič, P.; Vaculík, P.: Účinné využití tuhých biopaliv v malých spalovacích zařízeních s ohledem na snižování emisí znečišťujících látek. 2010, Powerprint, Praha, pp. 240, ISBN 978-80-87415-02-3
- Malaťák, J.; Vaculík, P.: Biomasa pro výrobu energie. ČZU v Praze, Technická fakulta, tisk. Powerprint, Praha 2008, 206 s., ISBN: 978-80-213-1810-6
- Muller, M.: Zpracovny nekovového odpadu. ČZU, Praha, 2008, 154 s.
- Obroučka, K.: Termické zneškodňování odpadů. VŠB Ostrava, Ostrava 1997, 140 s.
- Pastorek, Z.; Kára, J.; Jevič, P.: Biomasa – obnovitelný zdroj energie, nakladatelství FCC Public, Praha 2004, 284 str., ISBN 80-86534-06-5
- Smejtková, A., Dobiáš, J. Obaly a obalová technika. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2004. ISBN 80-213-1315-3.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 15. 12. 2017

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 27. 03. 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Návrh energetického využití směsi odpadního plastu vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne _____

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce panu doc. Ing. Janu Malatřákovi, Ph.D. a Ing. Janu Velebilovi za odborné vedení, cenné rady a připomínky při zpracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Jiřímu Holešákovi, který je ředitelem společnosti HBH odpady s.r.o. Havlíčkův Brod za poskytnutí informací a materiálu pro zpracování této diplomové práce.

Návrh energetického využití směsi odpadního plastu

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem energetického využití směsi odpadního plastu. V teoretické části jsou obsaženy právní předpisy odpadového hospodářství a základní charakteristika zpracovávaného materiálu. Další část se zabývá zpracování těchto odpadů materiálovou nebo termickou cestou. V praktické části je obsaženo představení firmy zabývající se tříděním odpadu. Ze zbytkového odpadu, který nelze materiálově využít, byl odebrán vzorek, který byl následně analyzován. Naměřené hodnoty byly porovnány s hodnoty obsaženými v normě pro alternativní paliva, které byly ve všech ohledech splněny a lze je tedy využít pro spalování v cementárenské peci. Průměrná výhřevnost měřených vzorků je 35 MJ.kg^{-1} , vlhkost 1,16 % a obsah popele 2,5 %. U společnosti byla provedena inovace třídící linky v podobě hvězdicového síta k oddělení jednotlivých druhů papíru. Ve výběrovém řízení zvítězilo zařízení od společnosti LUBO, které je následně ekonomicky zhodnoceno.

Klíčová slova: odpad, plast, papír, recyklační linka, spalování, stechiometrie, prvkový rozbor, výhřevnost

Design of energy utilization of waste plastic mixture

Summary

This diploma thesis is focusing on using mixture of plastic waste. In the theoretical part there are laws of waste management and basic characteristic of waste material. The next part is focusing on manufacturing this waste the in the material or in the thermic way. In the practical part there is introducing of company, which is focusing on waste sorting. From the residual waste, which is not possible to reuse, was remove the sample, which was analyzed afterwards. Measured values were compared with values contained in the norm of alternative fuels, which were fully filled and they can be used for combusting in cement furnace. The average heating value of measured samples is 35 MJ.kg^{-1} , the degree of wetness 1,16 % and the content of ashes 2,5 %. The company have innovated the sorting line, they have used star-shaped sieve to separate single kind of papers. The winner of tender was machine from company LUBO, which is economically evaluated afterwards.

Key words: waste, plastics, paper, sorting line, combusting, stoichiometry, element analysis, heating value

Obsah

| | |
|---|-----------|
| 1. Úvod..... | 1 |
| 2. Cíl a metodika práce | 2 |
| 3. Legislativa odpadového hospodářství České republiky | 3 |
| 3.1. Základní právní předpisy odpadového hospodářství ČR | 3 |
| 3.1.1. Zákon o odpadech | 3 |
| 3.1.2. Zákon o obalech | 4 |
| 3.1.3. Zákon o vodách..... | 5 |
| 3.1.4. Zákon o ochraně ovzduší | 5 |
| 3.1.5. Zákon o životním prostředí | 6 |
| 3.1.6. Další právní předpisy odpadového hospodářství | 6 |
| 3.2. Plány odpadového hospodářství České republiky..... | 7 |
| 3.2.1. Cíle uvedené v POH ČR | 7 |
| 4. Suroviny | 8 |
| 4.1. Zkratky a značení | 8 |
| 4.2. Plast | 9 |
| 4.2.1. Historie a rozvoj plastů | 10 |
| 4.2.2. Vlastnosti plastů..... | 11 |
| 4.2.3. Rozdělení plastů..... | 12 |
| 4.2.4. Využití plastů | 18 |
| 4.3. Papír | 19 |
| 4.3.1. Historie a rozvoj papíru | 20 |
| 4.3.2. Vlastnosti papíru | 20 |
| 4.3.3. Rozdělení papíru | 24 |
| 4.3.4. Označování papíru | 27 |
| 4.3.5. Využití papíru | 27 |
| 5. Technika a technologie zpracování surovin..... | 28 |
| 5.1. Zpracování plastového odpadu | 28 |
| 5.1.1. Materiálová identifikace | 28 |
| 5.1.2. Zdrobňování plastového odpadu..... | 30 |
| 5.1.3. Konečné zpracování plastového odpadu..... | 31 |
| 5.2. Zpracování papírového odpadu..... | 35 |
| 5.2.1. Možnosti využití papíru | 35 |
| 5.2.2. Sběr odpadního papíru | 35 |
| 5.2.3. Postupy zpracování papíru..... | 36 |
| 5.2.4. Postupy používané při výrobě papíru | 38 |

| | |
|--|-----------|
| 6. Termické zpracování surovin..... | 41 |
| 6.1. Složení spalitelných odpadů..... | 41 |
| 6.2. Spalování..... | 42 |
| 6.3. Zplyňování | 43 |
| 6.4. Pyrolýza..... | 44 |
| 6.5. Stechiometrie spalovacích procesů | 45 |
| 6.5.1. Výpočty spotřeby vzduchu a množství spalin | 45 |
| 6.5.2. Spalné teplo a výhřevnost | 46 |
| 7. Výchozí podmínky v podniku | 48 |
| 7.1. Představení společnosti HBH odpady s.r.o. | 48 |
| 7.2. Popis třídící linky, její výkonnost a materiálové toky..... | 50 |
| 8. Metodika měření | 54 |
| 9. Návrh řešení a dosažené výsledky | 62 |
| 9.1. Termické zpracování zbytkového plastového odpadu | 62 |
| 9.1.1. Porovnání výsledků..... | 67 |
| 9.1.2. Stechiometrie spalování | 69 |
| 9.2. Inovace linky | 72 |
| 9.2.1. Hvězdicové síto..... | 73 |
| 9.3. Výběrové řízení | 75 |
| 9.3.1. Multistar 2-SE..... | 75 |
| 9.3.2. Rollster..... | 76 |
| 9.3.3. BHS OCC 66-15 | 76 |
| 9.3.4. LUBO OCC 7000 | 77 |
| 9.3.5. Bollegraaf Recycling Machinery | 78 |
| 9.3.6. LUBO OCC 7000 | 79 |
| 9.4. Ekonomické zhodnocení | 83 |
| 9.4.1. Stanovení investičních nákladů | 83 |
| 9.4.2. Posouzení ekonomické efektivity investice | 86 |
| 9.4.3. Posouzení ekonomického zhodnocení | 88 |
| 10. Seznam použité literatury | 91 |
| 11. Přílohy..... | 98 |

1. Úvod

Problematika odpadů a nakládání s nimi doprovází lidstvo již od nepaměti. V současné době se jedná o jedno z nejvíce diskutovaných a řešených témat na Zemi. Dříve, kdy většina odpadů byla organického původu, nebylo zapotřebí se tímto tématem více zabývat. To až v současnosti, kdy se odpad stává velkou zátěží pro planetu Zemi, jeho produkce den ode dne roste a setkáme se s ním v jakékoliv formě, se stává předmětem zájmu mezinárodních organizací, Evropské Unie, států a dalších, kteří se tímto problémem zabývají a snaží se právně nastavit nakládání s odpady tak, aby docházelo ke snižování produkce odpadů, případně předcházení jeho vzniku. Taktéž se zabývá využíváním odpadů, jak nejlépe a nejúčinněji s odpady nakládat. V první řadě by mělo dojít k materiálovému, a až poté k jinému, alternativnímu způsobu využití.

Ve své diplomové práci pracuji se dvěma důležitými materiály, které se v hojné míře vyskytují na Zemi, a to papírem a plastem. Jedná se o materiál, se kterým se denně setkáváme, a jeho objem produkce se stále ve všech odvětvích průmyslu zvyšuje a nelze očekávat opak.

Aby bylo nakládání s odpady co nejefektivnější a zároveň ekonomicky přijatelné, je zapotřebí do celého procesu zapojit širokou veřejnost. I přes veškeré moderní technologie je člověk stále na prvním místě, kdo může ovlivnit, jak se s daným odpadem naloží.

2. Cíl a metodika práce

V první části diplomové práce je úkolem vytvořit přehled o právních předpisech odpadového hospodářství, definovat jednotlivé druhy zpracovávaného materiálu a zároveň popsat koloběh materiálů od třídění až po konečné využití. Tímto využitím je míněno materiálové, na které navazuje termické, ke kterému by se mělo přistupovat v případě, že odpad není možné materiálově využít.

V praktické části je cílem představení podniku, ve kterém byly odebrány vzorky odpadu určené k prvkové a stechiometrické analýze. U těchto vzorků, které již není možné znovu využít, se porovnávají jejich analytické vlastnosti s tabulkovými hodnotami určitých materiálů, se směsným komunálním odpadem a tuhými alternativními palivy. Cílem je analyzovat vzorky a zhodnotit jejich vhodnost pro energetické využití v cementačních pecích.

Dalším cílem práce je návrh inovace zařízení na separaci papírů a jeho následné ekonomické zhodnocení, zda bude pro firmu výhodné, či nikoliv.

Diplomová práce metodicky vychází z analýzy současného stavu problematiky v oblasti recyklace a tepelného zpracování odpadů z plastu. Proto v rámci řešení této práce, bude metodika sestavena z těchto dílčích úkolů:

- Charakteristika papíru a plastu
- Technika a technologie zpracování papíru a plastu
- Analýza odebraného vzorku
- Měření a vyhodnocení
- Návrh modernizace třídící linky a jeho ekonomické zhodnocení

3. Legislativa odpadového hospodářství České republiky

V této části diplomové práce je obsažen přehled legislativy, která je velice důležitá pro všechny činnosti spjaté s nakládáním s odpady. Na území České republiky je problematika odpadového hospodářství stanovena řadou zákonů, vyhlášek a nařízení státu.

3.1. Základní právní předpisy odpadového hospodářství ČR

V České republice existují dva hlavní zákony, které se zabývají tématem odpadu. Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech. Další zákony, které lze zařadit mezi základní právní předpisy jsou Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách, Zákon č. 2001/2012 Sb. o ochraně ovzduší a Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí.

3.1.1. Zákon o odpadech

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů vytyčuje předpisy Evropské unie a jsou v něm obsažena témata, která se zabývají předcházení vzniku odpadu a nakládání s nimi. Zákon je rozčleněn do osmnácti částí, mezi které patří např.: základní ustanovení, zařazování odpadů, povinnosti při nakládání s odpady, zpětný odběr, plány odpadového hospodářství, ekonomické nástroje a další.

Jedná se o zákon, který lze nazvat hlavním zákonem odpadového hospodářství České republiky, který nadefinoval stupnici, jak s odpady nakládat, tzv. hierarchii.

Hierarchie nakládání s odpady:

- Předcházení vzniku
- Příprava pro znovupoužití
- Recyklace
- Jiné využití (energetické)
- Odstranění

Předmětem tohoto zákona je definovat pravidla pro předcházení vzniku odpadu a pro nakládání s nimi při dodržování ochrany životního prostředí, ochrany zdraví člověka a trvale udržitelného rozvoje. Dále stanovuje působnost příslušných orgánů veřejné správy a taktéž povinnosti osob, jak s odpadem nakládat.

Působnost tohoto zákona se vztahuje na všechny odpady, kromě odpadů v něm uvedených, jako jsou: odpadní vody, radioaktivní materiál, těla mrtvých zvířat, exkrementy, látky znečišťující ovzduší, výbušniny, sedimenty odstraněné při rekultivaci atd.

Odpadem se rozumí každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit. V první části tohoto zákona jsou definovány další základní pojmy, do kterých náleží

- Nebezpečný odpad – je takový odpad, který vykazuje jednu nebo více nebezpečných vlastností.
- Komunální odpad – je veškerý odpad, který vzniká na území obce při činnosti fyzických osob, vyjma odpadů, které vznikají při činnosti fyzických a právnických osob oprávněných k podnikání.
- Odpad podobný komunálnímu odpadu – je veškerý odpad, který vzniká na území obce při činnosti fyzických nebo právnických osob, které jsou oprávněny podnikat, a který je v Katalogu odpadů uveden jako komunální odpad.
- Odpadové hospodářství – je činnost, která se zabývá předcházením vzniku odpadu, nakládáním s odpady a následnou péčí o místo, kde jsou odpady trvale uloženy a monitoring těchto činností.
- Nakládání s odpady – jedná se o jejich shromažďování, soustředování, sběr, výkup, třídění, přeprava a doprava, skladování, úprava, využívání a odstraňování.
- Zbavování se odpadu – dochází k němu tehdy, předá-li osoba movitou věc, uvedenou v příloze č. 1 zákona o odpadech č. 185/2001 Sb., k využití nebo k odstranění, případně oprávněné osobě ke sběru.
- Původce odpadu – je jím právnická nebo fyzická osoba oprávněná podnikat a při jejíž činnosti dochází ke vzniku odpadu, nebo jiné činnosti, při které dochází ke změně vlastností a složení odpadu. Dále se jedná o obec, která se stává vlastníkem odpadu v případě, kdy fyzická osoba odloží odpad na sběrném místě.
- Skladování odpadů, shromažďování odpadů, sběrem odpadů, využitím odpadů, opětovným použitím atd. [Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech].

3.1.2. Zákon o obalech

Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech a o změně některých zákonů stanovuje předpisy Evropské unie a má za cíl chránit životní prostředí předcházením vzniku odpadu z obalů. Tento zákon se zejména soustředí na snižování hmotnosti, objemu a škodlivosti obalů a chemických látek, které jsou v obalech obsaženy. Dále stanovuje působnost příslušných

orgánů při nakládání s obaly a taktéž povinnosti podnikajících fyzických a právnických osob, jak s odpadem nakládat.

Působnost tohoto zákona se vztahuje se na všechny obaly, které jsou uváděny na trh nebo do oběhu, vyjma přepravních kontejnerů, které jsou využívány v silniční, železniční nebo letecké dopravě.

Zároveň stanovuje práva a povinnosti právnických a fyzických osob při nakládání s obaly, jejich uváděním do oběhu, při využití odpadu z obalů a stanovuje poplatky a opatření.

Obalem se rozumí výrobek, který byl vyroben z jakéhokoli materiálu a slouží k pojmutí, ochraně, dodávce, manipulaci a prezentaci výrobků určených cílovému uživateli, pokud:

- se jedná o prodejní obal, tedy obal, který má pro konečného uživatele vytvořit prodejní jednotku.
- jedná se o prodejní obaly, které v místě nákupu tvoří skupinu prodejních jednotek, ať již je tato skupina prodávána konečnému uživateli, nebo slouží jako pomůcka pro umístění do regálů. Při jeho odstranění, se neovlivní vlastnosti výrobku.
- mají při přepravě a manipulaci prodejních jednotek nebo jejich skupiny zabránit fyzickému poškození [Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech].

3.1.3. Zákon o vodách

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů, jehož účelem je ochrana povrchových a podzemních vod. Dále tento zákon stanovuje podmínky pro využívání vodních zdrojů, zachování jakosti povrchových a podzemních vod, snížení negativních účinků v době sucha nebo povodní, zajištění bezpečnosti vodních staveb a ochrana vodních ekosystémů [Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách].

3.1.4. Zákon o ochraně ovzduší

Zákon č. 2001/2012 Sb., o ochraně ovzduší, který stanovuje práva a povinnosti týkající se ochrany ovzduší, snižování množství uvolněných znečišťujících látek do ovzduší a také snížení světelného znečištění ovzduší [Zákon č. 2001/2012 Sb., o ochraně ovzduší].

3.1.5. Zákon o životním prostředí

Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí, stanovuje zásady ochrany životního prostředí a povinnosti fyzických a právnických osob při ochraně a zlepšování životního prostředí. Dále jsou zákonem definovány základní pojmy, do kterých se řadí např.: životní prostředí, ekosystém, přírodní zdroje atd. Zákon vychází z principu trvale udržitelného rozvoje [Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí].

3.1.6. Další právní předpisy odpadového hospodářství

- Zákon č. 383/2012 Sb., o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů
- Vyhláška č. 376/2001 Sb., Ministerstva životního prostředí a Ministerstva zdravotnictví o hodnocení nebezpečných vlastností odpadu
- Vyhláška č. 330/2012 Sb., o způsobu posuzování a vyhodnocení úrovně znečištění, rozsahu informování veřejnosti o úrovni znečištění a při smogových situacích
- Vyhláška č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší
- Vyhláška č. 93/2016 Sb., Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví Katalog odpadu, postup pro zařazení odpadu podle Katalogu odpadů a náležitosti návrhu obecního úřadu obce s rozšířenou působností na zařazení odpadu podle Katalogu odpadů
- Vyhláška č. 383/2001 Sb., Ministerstva životního prostředí o podrobnostech nakládání s odpady
- Vyhláška č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu
- Vyhláška č. 94/2016 Sb., o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů
- Vyhláška č. 257/2012 Sb., o předcházení emisím látek, které poškozují ozonovou vrstvu a fluorovaných skleníkových plynů
- ČSN EN ISO 472 Plasty - slovník
- ČSN 64 003 Plasty – zhodnocení plastového odpadu
- ČSN EN 77 0003 Obaly - Obalové odpady a životní prostředí

- ČSN 77 0148 EN 13430 Obaly – požadavky na obaly využitelné k recyklaci materiálu [Plán odpadového hospodářství ČR, 2012].

3.2. Plány odpadového hospodářství České republiky

Plán odpadového hospodářství České republiky (dále jen POH ČR) má za úkol stanovit cíle a opatření pro nakládání s odpady na území ČR.

POH ČR se vztahuje pro nakládání se všemi odpady s výjimkou odpadu uvedených v zákoně č. 185/2001 Sb., o odpadech v § 2 odst. 1 písmena a) až j).

POH ČR se zpracovává na dobu 10 let, a k jeho úpravě dochází při změně podmínek, podle kterých byl vypracován.

Je složen z částí:

- Úvodní část – obsahuje informace o struktuře a obsahu POH a charakteristiku ČR vymezující základní rámec pro hospodaření s odpady.
- Analytická část – definuje vývoj a aktuální stav odpadového hospodářství z hlediska produkce odpadu, tak i nakládání s nimi.
- Závazná část – jsou zde uvedeny zásady pro nakládání s odpady s dodržováním nastavené hierarchie nakládání s odpady.
- Směrná část – slouží k upřesnění plnění vytyčených cílů [Plán odpadového hospodářství ČR, 2012].

3.2.1. Cíle uvedené v POH ČR

POH ČR obsahuje cíle, kterých má být v nadcházejících letech dosaženo. Jedná se o níže uvedené:

- Předcházení vzniku odpadu a snižování měrné produkce odpadu [Program předcházení vzniku odpadů ČR, 2014].
- Minimalizace nepříznivých účinků vzniku odpadu a nakládání s nimi na lidské zdraví a životní prostředí.
- Udržitelný rozvoj společnosti a přiblížení se k evropské „recyklační společnosti“.
- Maximální využívání odpadu jako náhrady primárních zdrojů a přechod na oběhové hospodářství [Plán odpadového hospodářství ČR, 2012].

4. Suroviny

4.1. Zkratky a značení

Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky stanovuje značení obalů uváděných na trh a jejich identifikaci. Účelem tohoto zákona je zjednodušení nakládání s obaly, jejich tříděním a recyklací. Označení se skládá z grafické značky, ta je tvořena třemi šipkami a identifikačním kódem, který může být ve formě čísla nebo textu [SMEJTKOVÁ, DOBIÁŠ, 2004].

Obr. 1 Značka na obalech [Plast EKO-KOM, 2016]



Pokud se jedná o obaly složené z více materiálů, tzv. kombinované materiály, identifikační kód obsahuje písmeno C, následované lomící čarou, za kterou je písmeno materiálu, který má největší procentuální zastoupení v daném obalu [SMEJTKOVÁ, DOBIÁŠ, 2004].

Obr. 2 Značka na kombinovaných obalech [Značení kombinovaných obalů, NIS]



V následujících tabulkách jsou vyobrazeny nejběžnější druhy plastů a papírů, se kterými se můžeme setkat na odpadních obalech.

Tab. 1 Identifikační kódy plastů [SMEJTKOVÁ, DOBLÁŠ, 2004]

| Materiál | Písemný kód | Číselný kód |
|-------------------------------|-------------|-------------|
| Polyetylentereftalát | 1 | PET |
| Polyetylen s vysokou hustotou | 2 | HDPE |
| Polyvinylchlorid | 3 | PVC |
| Polyetylen s nízkou hustotou | 4 | LDPE |
| Polypropylen | 5 | PP |
| Polystyren | 6 | PS |
| Ostatní plasty | 7 | - |

Tab. 2 Identifikační kódy papíru [SMEJTKOVÁ, DOBLÁŠ, 2004]

| Materiál | Písemný kód | Číselný kód |
|----------------|-------------|-------------|
| Vlnitá lepenka | 20 | PAP |
| Hladká lepenka | 21 | PAP |
| Papír | 22 | PAP |
| Ostatní papír | 23 | PAP |

4.2. Plast

Jedná se o syntetické nebo makromolekulární látky, které je možné tvářet tlakem při vysokých teplotách. Základní složkou jsou polymery, což jsou látky, které jsou složeny z molekul jednoho či více druhů atomů případně jejich skupin. Polymer je složenina dvou slov a to poly – mnoho a mer – část. Polymery se od jiných materiálů liší svou řetězcovou strukturou molekul. Základní stavební jednotkou je monomer. Plasty mohou dále obsahovat pro zlepšení některých svých fyzikálních vlastností aditiva, jako jsou stabilizátory, změkčovadla, barviva, práškovitá plniva a další [JANOVEC, 2013].

V katalogu odpadu lze plasty řadit podle místa jejich vzniku do následujících skupin:

- 02 01 04 Odpadní plasty (kromě obalů)
- 04 02 09 Odpady z kompozitních tkanin (impregnované tkaniny, elastomer, plastomer)
- 07 02 00 Odpady z výroby, ze zpracování, z distribuce a z používání plastů, syntetického kaučuku a syntetických vláken
- 12 00 00 Odpady z tváření a z fyzikální a mechanické povrchové úpravy kovů a plastů
- 15 01 02 Plastové obaly

- 16 01 19 Plasty
- 16 02 07 Plasty ze zpracování použitých plastů
- 17 02 03 Plasty (součást stavebního odpadu)
- 17 02 04 Sklo, plasty a dřevo obsahující nebezpečné látky nebo nebezpečnými látkami znečištěné
- 19 12 04 Plasty a kaučuk
- 20 01 39 Plasty (součást komunálních odpadů)
- 50 01 07 Plasty (odpady vzniklé z elektroodpadů) [vyhláška MŽP 381/2001 Sb., 2001]

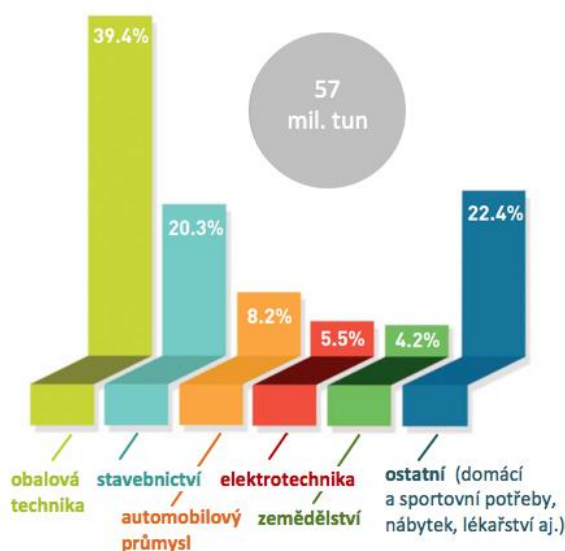
4.2.1. Historie a rozvoj plastů

Plasty, které jsou též někdy nesprávně označovány jako umělá hmota, byly vyvinuty v druhé polovině 19. století. O tento objev se jako první zasloužil Alexandr Parkes, který své dílo představil pod názvem Parkesin. Tato nová hmota byla definována jako látka tvrdá jako rohovina, ale ohebná jako kůže, která mohla být odlévána nebo lisována, barvena a řezána [Historie plastů, MUNI].

Dalším významným krokem v rozvoji plastů byl rok 1909, kdy belgický chemik Hendrik Baekeland vynalezl první umělou pryskyřici, kterou nazval bakelit. Tato pryskyřice vznikla reakcí fenolu s formaldehydem a vyznačuje se svou pevností, lehkostí a dobrou tepelnou odolností [FACTORY AUTOMATION, 2016].

K největšímu rozmachu plastických hmot došlo mezi světovými válkami, kdy bylo vynalezeno několik nových druhů. Mezi ně patří polyetylen, polystyren, polyvinylchlorid, polyamid a teflon. V dnešní době jsou plasty využívány každý den v domácnostech nebo všech odvětvích průmyslu. Díky jejich vlastnostem dnes zastupují ostatní tradiční materiály, jako je kov, sklo, papír aj [Historie plastů, MUNI].

Obr. 3 Spotřeba polymerních materiálů v Evropě [BĚHÁLEK, 2015]



4.2.2. Vlastnosti plastů

Plasty se vyznačují nízkou hustotou materiálu, jsou dobrým tepelným a elektrickým izolantem, jsou odolné vůči povětrnosti a korozi, snadno se zpracovávají, s čímž je spojeno i snížení nákladů. Naopak mezi nedostatky patří hořlavost, odolnost nízkým teplotám, vysoká teplotní roztažnost a nízká odolnost UV záření. Jejich zpracování (tváření, vstříkávání, lisování, lití, aj.) je díky jednoduchosti vhodné pro sériovou výrobu [JANOVEC, 2013].

Mezi nejdůležitější vlastnosti patří:

- plasticita – umožňuje snadné tvarování,
- elasticita – umožňuje odolnost vůči mechanickým rázům,
- pevnost,
- mechanická, chemická a tepelná odolnost [SMEJTKOVÁ, 2004].

Mezi příměsi, díky kterým lze měnit určité vlastnosti plastů patří:

- plniva - zajišťují plastu ohebnost a měkkost; jedná se např. o grafit, textilní nebo skleněná vlákna
- tepelné stabilizátory – jejich cílem je zlepšení odolnosti polymerů vůči vyšším teplotám a zpomalení degradačních procesů,

- světelné stabilizátory – mají za úkol zpomalit degradační procesy v důsledku slunečního záření
- stabilizátor se specifickým účinkem – tato skupina stabilizátorů má za úkol zabránit stárnutí polymeru, které je způsobeno působením vnějších vlivů (kyslík, vodní srážky, vítr, atd.),
- barviva – přidávají se před polymerací, jsou organického nebo anorganického původu a dodávají polymeru požadovaný odstín,
- opticky zjasňující látky – jejich úkolem je pohltit část UV záření, používají se výhradně u růžových, fialových a modrých odstínů,
- maziva – zjednodušují zpracování polymerů,
- změkčovadla – zlepšují ohebnost, rázovou houževnatost a tekutost taveniny,
- antistatika – úkolem antistatik je zvýšit elektrickou vodivost,
- nadouvadla – slouží k vytvoření pěnovité struktury, výroba lehčených hmot,
- retardéry hoření – jedná se o látky, jejichž úkolem je zpomalit proces hoření [BĚHÁLEK, 2015].

Poslední vlastností, která ovlivňuje životnost plastů je stárnutí. To je vyjádřeno jako časová změna vlastností polymerů [JANOVEC, 2013].

4.2.3. Rozdělení plastů

Plasty jsou rozděleny na základě jejich teplotního chování podle změny jejich struktury do dvou základních skupin – termoplasty a reaktoplasty. Druhá skupina polymerů jsou elastomery, které jsou rozděleny dále na kaučuky a termoplastické elastomery.

Termoplasty

Jedná se o plasty, u kterých při ohřátí dojde k rozechvění makromolekul, což způsobí rozrušení jejich mezimolekulárních sil. To má za následek přechod polymeru do plastického stavu, při kterém lze polymer snadno tvarovat a zpracovávat. Jedná se o fyzikální proces, který lze opakovat teoreticky bez omezení [Plasty, KSP.TUL]

Termoplasty jsou rozděleny do devíti skupin: polyolefiny, fluoroplasty, vinylové plasty, styrenové plasty, akrylátové plasty, polyestery, polykarbonáty, acetátové plasty a polyamidy.

Do termoplastů patří tyto plastické hmoty:

Polyetylentereftalát (PET)

PET je nejvýznamnějším termoplastem ve skupině polyesterů, do kterých též patří PBT (polybutylenetereftalát).

Polyetylentereftalát je špatně krystalizující termoplast, který se vyznačuje dobrými mechanickými vlastnostmi. Jedná se o polymer, který je křehký a odolává krípu při běžných podmínkách.

Tento druh polymeru je určen zejména pro výrobu vláken (následné použití pro výrobu tkanin a textilií) a též pro výrobu fólií. Nejčastěji se s nimi člověk setká v odvětví potravinovém průmyslu, a to při výrobě nápojových lahví [Plasty, KSP.TUL].

Polyetylen (PE)

Polyetylen se řadí do skupiny polyolefinů, stejně jako polypropylen.

Podle tvaru molekul a hustoty se rozlišují dva základní druhy polyetyleny. První, který je označován zkratkou PE-LD je vysokotlaký polyetylen s větvenou strukturou a nízkou hustotou. Druhým je nízkotlaký polyetylen označovaný jako PE-HD, který má na rozdíl od PE-LD strukturu lineární a vyšší hustotu [SMEJTKOVÁ, DOBIÁŠ, 2004].

V závislosti na molekulové struktuře se liší vlastnosti obou hmot. Čím větší je uspořádanost struktury, tím větší má mechanickou a tepelnou odolnost. Nízkohustotní polymer je elastický i při nízkých teplotách, vysokohustotní má vysokou chemickou odolnost [SMEJTKOVÁ, DOBIÁŠ, 2004].

Polyetylen je nejpoužívanějším polymerem na světě, který se používá v obalové technice, pro výrobu hraček, mikrotenových sáčků atd [JANOVEC, 2013].

Dalšími polyethyleny jsou PE-UHMW (polyetylen s maximální molekulovou hmotností), PE-X (polyetylen zesíťovaný), PE-LLD (Nízkohustotní lineární polyetylen) a PE-MD (středněhustotní polyetylen).

Polypropylen (PP)

Polypropylen se řadí do skupiny polyolefinů, stejně jako předchozí polyetylen.

Vlastnosti polypropylenu jsou podobné vlastnostem polyetyleny. Navzdory jeho nižší hustotě má dobrou chemickou a mechanickou odolnost. Je odolný vůči olejům a

rozpouštědlům, kyselinám, solím a zásadám, ale při nízkých teplotách dochází k jeho křehnutí. Polypropylen je hořlavý plast, který na rozdíl od polyethylenu má nižší hustotu, ale lepší tvarovou stálost, vyšší pevnost, tuhost a tvrdost.

Kvůli své nízké hustotě se využívá pro výrobu lan, lana se poté vyznačují nízkou hmotností. Další využití má u předmětů denní spotřeby jako jsou fólie, lahve, misky a další obalové materiály. Dále je možné se s polypropylenem setkat v textilním, potravinářském a strojírenském průmyslu [SMEJTKOVÁ, DOBIÁŠ, 2004], [CHOTĚBORSKÝ, 2011].

Polytetrafluorethylen (PTFE)

PTFE je na seznamu plastů ve skupině fluoroplasty, které lze srovnávat s polyolefiny. Rozdíl je v makromolekulách, kde jsou atomy vodíku nahrazeny atomy fluoru.

Jedná se o termoplast, který má velmi dobré elektroizolační, chemické, kluzné a tepelné vlastnosti, je odolný vůči chemikáliím a vysokým teplotám, nehořlavý a vyznačuje se nižší pevnostní hodnoty.

Jeho použití je v oblasti ochrany, a to zejména u kovových povrchů (teflonové pánve, nástroje, potrubí a těsnění na něj) [Plasty, KSP.TUL].

Polyvinylchlorid (PVC)

PVC se řadí do skupiny vinylových polymerů a jedná se o jeden z nejrozšířenějších plastů.

Polyvinylchlorid se řadí na třetí místo celosvětového objemu výroby hned po polyetyleny a polypropyleny. Na trhu má 11% zastoupení a je dodáván v práškové formě. PVC se vyznačuje svými dobrými mechanickými vlastnostmi, elektroizolačními vlastnostmi a dobrou chemickou a tepelnou odolností (odolný až do -150 °C). Jeho nevýhodou jsou špatné mechanické vlastnosti [JANOVEC, 2013].

V praxi se můžeme setkat s několika druhy PVC, mezi které se řadí PVC-U (neměkčený tvrdý typ), PVC-P (měkčený tvrdý typ) a PVC-C (chlorovaný tvrdý typ). Polyvinylchlorid se využívá pro výrobu potrubí, které je určeno pro vysoké teploty nebo korozivní prostředí. Dále je možné PVC použít na podlahové krytiny, izolaci vodičů, rámy dveří a oken [CHOTĚBORSKÝ, 2011].

Polystyren (PS)

Polystyren i jeho kopolymery patří do skupiny styrenových plastů. Do kopolymerů se řadí PS-HI (houževnatý polystyren), ABS (akrylonitril butadien styren), SAN (styren akrylonitril), SB (styren butadien) a další.

Polystyren je řazen do skupiny nejpoužívanějších plastů, a známý jako tepelně izolační materiál ve formě pěny. Nejvýznamnějšími vlastnostmi je jeho velká tvrdost a odolnost vůči kyselinám, olejům a alkoholu, je odolný proti oxidaci. Na druhou stranu se jedná o velice křehký plast, málo odolný vůči teplotě a UV záření, náchylný ke korozi [JANOVEC, 2013].

Je vyráběn ve dvou formách, a to jako pěnový polystyren (EPS), který se používá jako tepelně izolační materiál a obalový materiál. Druhá forma je polystyren extrudovaný (XPS), využívaný k izolaci podlah [CHOTĚBORSKÝ, 2011].

Polymetylmetakrylát (PMMA)

PMMA je společně s PAK (polyakrylát) a PAN (polyakrylonitril) součástí akrylátových plastů, které vznikají polymerací esterů kyseliny methakrylové a akrylové.

Polyakrylát vznikající polymerací metylmetakrylátu a kyseliny metakrylové se využívá ve formě desek. Jeho charakteristickou vlastností je naprostá čírost, proto je též někdy nazýván jako organické sklo. Až do teploty 80 °C si zachovává svoje mechanické vlastnosti. Materiál je snadno obrobitelný, ale kvůli nízké tvrdosti povrchu se snadno poškrábe [JANOVEC, 2013].

Využití PMMA: okna dopravních prostředků, kryty přístrojů, hodinová sklíčka, hokejové mantinely, zasklívání verand, světlíků, ochranné lišty nárazníků, umělé protézy atd [JANOVEC, 2013].

Polyamid (PA)

PA je polymer, který vzniká polykondenzací aminokyselin, či jejich cyklických amidů, nebo polykondenzací alifatických diaminů s dikarboxylovými kyselinami. Vyznačuje se svými dobrými mechanickými vlastnostmi (pevný, tuhý, houževnatý, tvrdý a odolný proti opotřebení), vynikající teplotní odolností až do 220 °C a malou propustností plynů a aromatické páry. Velmi snadno přijímá vodu, je silně polární a odolává nepolárním rozpouštědlům [CHOTĚBORSKÝ, 2011].

Je vhodný pro výrobu kladek, ložisek, filtrů, vzduchových vedení, spojovacích prvků a ozubených kol. Díky jeho pevnosti z něj lze vytvořit tenké vlákno vhodné pro textilní průmysl, rybářské vlasce, řemeny, dopravní pásy aj [JANOVEC, 2013].

Polykarbonát (PC)

Polykarbonát se řadí do skupiny polykarbonátu, i když vzhledem k jeho chemické povaze lze zařadit i do skupiny polyesterů.

Jedná se o termoplast, který je dokonale průhledný a má dobré mechanické vlastnosti. Vyznačuje se dobrou tuhostí, pevností, tvrdostí a houževnatostí, dále má výborné dielektrické a elektroizolační vlastnosti.

Díky své dokonalé průhlednosti se s ním můžeme setkat u brýlových skel, fotoaparátových čoček, střešních krytin a oken automobilů, reflektory, nárazníky a ochranné štíty motocyklů [Plasty, KSP.TUL].

Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou polymerní materiály, které stejně jako termoplasty v první fázi zahřívání měknou a jsou tvarovatelné, avšak po omezenou dobu. Při dalším zahřátí plastu je převeden do netavitelného a nerozpustného stavu, a to za pomoci přivedeného tepla. Tím dochází ke vzniku kovalentní vazby mezi makromolekulami, které vytvoří prostorovou zesíťovanou strukturu. Tato chemická reakce se nazývá vytvrzování. Při opětovném pokusu roztavit nebo rozpustit plast zahřátím, dojde k jeho destrukci – jedná se o děj nevratný [CHOTĚBORSKÝ, 2011].

Reaktoplasty jsou rozděleny do pěti skupin, kam se řadí fenoplasty, aminoplasty, polyuretany, polyesterové a epoxidové pryskyřice.

Do reaktoplastů patří tyto plastické hmoty:

Fenolformaldehyd (PF)

Fenolformaldehyd se řadí do skupiny fenoplastů.

Fenolformaldehyd vzniká polymerací fenolu s formaldehydem. Materiál je tvrdý, křehký, špatně hořlavý, má dobré elektroizolační vlastnosti, vysoké dielektrické ztráty a odolává rozpouštědlům a kyselinám. Výsledným produktem je novolak nebo rezol, což se odvíjí od způsobu kondenzace a poměru fenolu s formaldehydem.

Novolak se používá jako základní materiál nátěrových hmot, laků, a tmelů. V žádném případě nelze použít v přímém styku s potravinami kvůli zbytkovému fenolu, který je zdraví škodlivý. Rezoly se používají jako pojidla, lepidla a licí pryskyřice [CHOTĚBORSKÝ, 2011].

Močovinoformaldehydové pryskyřice (UF)

UF patří společně s MF (melaminformaldehydová pryskyřice) do skupiny aminoplastů.

Jedná se o bezbarvé a zdravotně nezávadné reaktoplasty, které se vyznačují vyšší tuhostí. Aminoplasty se používají jako lisovací hmoty, nebo se s nimi můžeme setkat v nevytvrzeném stavu a k jeho vytvrzení dochází až po spojení s jiným materiálem, kde plní roli lepidel, pojiv atd.

Epoxidy (EP)

Pod pojmem epoxidy se rozumí sloučeniny, které obsahují v molekule minimálně jednu velmi reaktivní epoxidovou skupinu. Při jejich vytvrzování dochází k minimálnímu vzniku bublin a smrštění. Výsledkem je vysoká adheze ke kovům, sklu a keramice a velká chemická odolnost. Epoxidy jsou bezbarvé, pevné a mají dobré elektroizolační a chemické vlastnosti [CHOTĚBORSKÝ, 2011].

Používají se jako licí hmota k výrobě modelů, šablon a lepidel. S přídavkem (plnivem) skleněných nebo uhlíkových tkanin se využívají, díky své tvarové pevnosti, jako konstrukční materiály v leteckém průmyslu [CHOTĚBORSKÝ, 2011].

Polyester (PES)

Jelikož část polyesterů patří do skupiny termoplastů, je obtížné je definovat. Jedná se o materiál, který se po svém vytvrzení stává velice pevný, odolný vůči chemickým a teplotním účinkům. Nejčastěji se používá jako pojivo u kompozitních materiálů a slouží k výrobě lodí, nádrží, karoserií atd [CHOTĚBORSKÝ, 2011].

Polyuretan (PUR)

Polyuretany jsou polyestery karbamových kyselin, u kterých k dosažení požadovaných vlastností výsledného produktu musí být vhodně zvolena chemická vazba. Polyuretan je ořezuvzdorný, tuhý až kaučukovitý plast [JANOVEC, 2013].

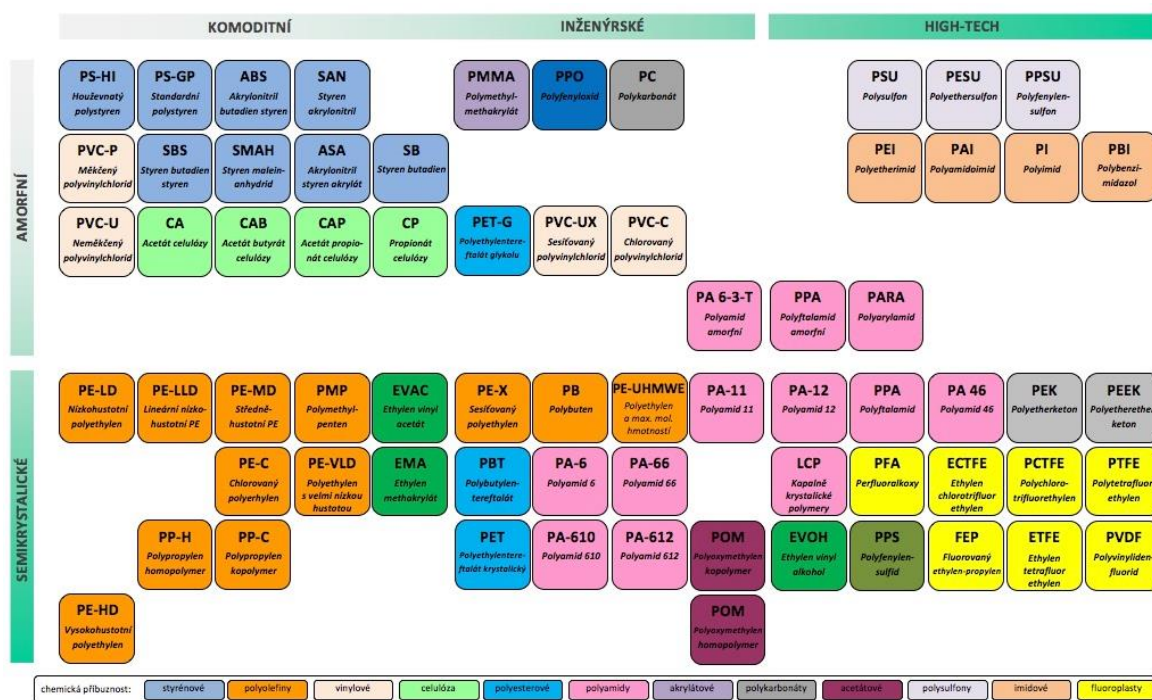
Využívá se jich kvůli jejich stálosti při působení vody, dobré adhezii k mnoha materiálům a odolnosti proti oděru. Jmenovitě se používají pro výrobu textilních vláken, koleček pro průmysl, nebo kolečkové brusle/skateboardy a na výrobu lepidel [JANOVEC, 2013].

Elastomery

Elastomery jsou plasty, které se vyznačují svými elastickými vlastnostmi a nízkou tuhostí. Stejně jako u termoplastů a reaktoplastů dochází při jejich první fázi ohřevu k měknutí, kdy jsou omezenou dobu tvarovatelné. Od ostatních plastů se liší tím, že jejich elasticita nezávisí na teplotě [JANOVEC, 2013].

Do této skupiny patří styren-butadienový kaučuk, kaučuk, butylkaučuk, silikonový kaučuk a polychloroprenový kaučuk. Z elastomerů se vyrábí různá těsnění, latexové čepice a rukavice aj [DUCHÁČEK, HRDLIČKA, 2009].

Obr. 4 základní dělení polymerních materiálů [BĚHÁLEK, 2015]



4.2.4. Využití plastů

V pomyslném žebříčku materiálů, které se vyskytují v naší blízkosti a my s nimi jakkoliv nakládáme, se na špici nacházejí právě plasty. Rok od roku produkce plastového odpadu stoupá a v současné době je každoročně vyrobeno a spotřebováno více než 300

milionů tun. Pozitivní zprávou je, že množství odpadu, který se využije, stoupá [Plast EKO-KOM, 2017].

V České republice zajistila společnost EKO-KOM, a.s., v roce 2017 využití a recyklaci více než 139 tisíc tun plastů. Toto celkové množství odpovídá přibližně 30 kg za rok z každé domácnosti. Odpad ze žlutých kontejnerů je následně roztříděn a slisován na dotřídňovacích linkách (denně 442 tun). Vytríděné plasty (69 % je v ČR recyklováno a využito) směřují ke zpracovatelům, kteří plast drtí, perou a přetváří suroviny pro výrobu koncových produktů [Plast EKO-KOM, 2017].

Podle druhu plastu lze recyklované plasty využít v mnoha odvětvích, např.: ve stavebním průmyslu, výroba stolů, lavic, protihlukových bariér, zámkové dlažby, imitace dřeva atd. Dalším využitím je výroba kobereců, netkaných textilií nebo zimních bund. Pokud je plast znečištěný na tolik, že by jeho znovuvyužití bylo příliš nákladné, je drcen a využíván jako alternativní palivo v cementárnách – energetické využití [PlasticsEurope, 2016].

4.3. Papír

Stejně jako plast, tak i papír zasahuje téměř do všech oblastí lidské činnosti. Jedná se o materiál, kde je jako hlavní vstupní surovina použita buničina. Ta se vyskytuje ve dřevě stromů, bavlněné tkanině nebo konopí. Dalším vstupním zdrojem je již použitý recyklovaný papír, tzv. sběrový papír, do kterého je však z technologického hlediska nutné přidávat čerstvá vlákna.

Samotné zpracování spočívá v namočení ve vodě a mletí výše uvedených surovin v diskových mlýnech za účelem získání vlákna celulózy, z kterých se samotný papír vyrábí. Tato vláknitá suspenze se nanáší na nekonečné válcové síto a dochází k jejímu částečnému odvodnění. Po odebrání papíru ze síta dojde k jeho přemístění do lisu, kde se odstraní další voda v něm obsažená. Po lisovací části následuje sušení, při kterém se odstraní zbytek vody, který by nebylo možné odstranit po mechanické stránce. Finální operací je namotání papírového listu do rolí [Papír, 2015].

V katalogu odpadu lze papír řadit podle místa jejich vzniku do následujících skupin:

- 03 03 00 Odpady z výroby a zpracování celulózy, papíru a lepenky
- 15 01 01 Papírové a lepenkové obaly
- 19 12 01 Papír a lepenka (odpady ze zařízení na zpracování odpadu)

- 20 01 01 Papír a lepenka (komunální odpady) [Vyhláška č. 93/2016 Sb., o Katalogu odpadů, 2016]

4.3.1. Historie a rozvoj papíru

Papír, ač nebyl prvním materiálem, kterého by člověk využíval ke psaní, se s námi na Zemi vyskytuje téměř 2000 let. Před papírem plnily funkci materiálu pro zaznamenání poznámek zejména papyrus a po něm též pergamen. Tyto dva nejznámější předchůdci se využívaly do 13. století, ve kterém byly papírem téměř vytlačeny [ZUMAN, VYKYDAL, KORDA, 1985].

První, kdo se zasloužil o objev papíru, i když není stejný jako ten, se kterým denně pracujeme, byl čínský úředník Tsai Lun. Tento objev se mu podařil v roce 105 před n. l., a to při pokusu nahrazení tehdejších destiček, které se v Číně používaly ke psaní. Jeho papír byl tvořen kůrou ze stromů, konopným odpadem a zbytkem rybářských sítí. Výsledný materiál získal velký ohlas, protože byl lehký, skladný a bylo snadné na něj psát. V Evropě se papír objevil až ve 12. století na Pyrenejském poloostrově na území dnešního Španělska. V tehdejších Českých zemích se začal papír vyrábět za vlády Karla IV. v chebské papírně [RUČNÍ PAPÍRNA LOSINY, 2010].

Vynálezem knihtisku došlo k rapidnímu zvýšení spotřeby papíru, což mělo negativní dopad na rozvoj výroby z důvodu nedostatku surovin. Tento stav nastal v 18. století, měl za následek snahu o zavedení strojní výroby, a tím se urychlila tehdy zdoluhavá ruční práce. Do této doby byl papír získáván z nedostatkové suroviny, hadrů. Pan Keller objevil způsob, jak ze dřeva získat potřebnou vlákninu, která by se stala náhradní surovinou za hadry. Ani tento objev však nestačil, proto se pro získání další vlákniny začaly využívat chemické pochody [ZUMAN, VYKYDAL, KORDA, 1985].

4.3.2. Vlastnosti papíru

V závislosti na postupu výroby a složení papíru (buničina, obsah celulózy) se odvíjejí jeho všeobecné, mechanické, fyzikální, optické a chemické vlastnosti.

Všeobecné vlastnosti papíru

Do všeobecných vlastí papíru patří plošná hmotnost, směr výroby a tloušťka papíru.

Plošná hmotnost

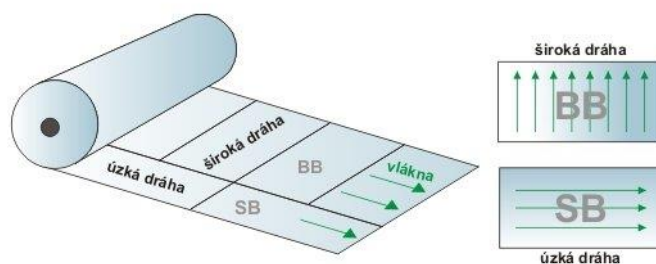
Plošná hmotnost patří mezi nejdůležitější vlastnosti papíru a je vyjádřena podílem hmotnosti na jednotku plochy ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$).

- tiskový papír $50 - 150 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$
- běžný papír $80 - 90 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$
- karton $150 - 250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$
- lepenka $> 250 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ [SMEJTKOVÁ, DOBIÁŠ, 2004]

Směr výroby

Směr výroby nám udává, kterým směrem jsou jednotlivá vlákna orientována. Většina z nich je orientována ve směru výroby papírenského stroje.

Obr. 5 Směr výroby papíru [STĚPA, 2015]



- BB neboli široká dráha; vlákna jsou rovnoběžná s krátkou stranou archu
- SB neboli úzká dráha; vlákna jsou rovnoběžná s dlouhou stranou archu [STĚPA, 2015].

Tloušťka

Tloušťka neboli volumen, představuje vzdálenost mezi protilehlými povrchy papíru a je měřena pomocí tloušťkoměru [PANÁK a kol., 2010].

Fyzikální vlastnosti papíru

Mezi fyzikální vlastnosti papíru řadíme vlhkost, stupeň zaklížení, dvoustrannost, rozměrovou stálost a hladkost.

Vlhkost

Papír se řadí mezi materiály, které se přizpůsobují vlhkosti okolí. Pokud se nachází ve vlhkém prostředí, přijímá vlhkost, v suchém prostředí jí naopak předává. Obsah vody se v papíru udává v hmotnostních procentech. Standardní hodnota vlhkosti se nachází v rozmezí 5 – 10 %. Vlivem změny vlhkosti jsou způsobeny změny rozměrů papíru – papír tedy patří mezi rozměrově nestabilní materiály [KAPLANOVÁ a kol., 2010].

Stupeň zaklížení

Stupeň zaklížení nám udává odolnost papíru vůči smáčení vodou a vodnými roztoky. Jelikož se papír snadno smáčí vodou, dochází tak k bobtnání vláken a rozměrovým změnám papíru. Zaklížením tedy dochází ke zvýšení odolnosti proti působení vody a k ovlivnění určitých vlastností, jako savost a vsákovost [KAPLANOVÁ a kol., 2010].

Dvoustrannost

Dvoustrannost vzniká při samotné výrobě papíru, a to na papírenském sítu, po kterém na spodní straně zůstává nepatrná struktura (drsňá, pórovitá). Od tohoto faktu se odvíjí charakteristika dvoustrannosti, která je definována jako rozdíl mezi spodní a vrchní stranou papíru [KAPLANOVÁ a kol., 2010].

Rozměrová stálost

Jedná se o schopnost papíru odolávat vnějším vlivům spojených s přijímáním kapalin, po kterých může dojít k rozměrovým změnám. S rostoucí vlhkostí roste rozměr papíru, naopak při sušení dochází k jeho srážení [KAPLANOVÁ a kol., 2010].

Mechanické vlastnosti papíru

Mezi mechanické vlastnosti patří pevnost, tvrdost, tuhost a odolnost papíru v přehýbání.

Pevnost

Pevnost papíru je dána pevností jednotlivých vláken a jejich vazeb. Pokud dojde k překročení kritické hodnoty, nastane porušení těchto vláken a jejich vazeb.

- pevnost v tahu
- pevnost v ohybu
- pevnost povrchu

- pevnost v průtlaku [PANÁK a kol., 2010]

Tvrдост

Tvrдост je definována jako schopnost papíru, která zabraňuje vniknutí cizího materiálu [PANÁK a kol., 2010].

Tuhost

Je spjata s tloušťkou papíru, jeho plošnou hmotností, tvrdostí a hustotou. Tuhost patří mezi důležité vlastnosti, které se týkají bankovních a cenných papírů, hracích karet, obalové techniky nebo kartotékových listů [PANÁK a kol., 2010].

Odolnost papíru v přehýbání

Jedná se o mechanickou vlastnost papíru, která je definována jako schopnost papíru snášet opakované přehýbání [KAPLANOVÁ a kol., 2010].

Chemické vlastnosti papíru

Mezi chemické vlastnosti papíru patří kyselost a alkalita, stálost zbarvení ve vlhkém prostředí a stárnutí.

Kyselost a alkalita

Dochází ke stanovení pH povrchu papíru nebo vodného roztoku. Optimální hodnota pH by měla být v rozmezí 6 – 7. U kyselých papírů dochází k rychlejšímu stárnutí, snížení pevnosti a též k pomalému zasychání tiskařských barev [KAPLANOVÁ a kol., 2010].

Stálost zbarvení ve vlhkém prostředí

Tato vlastnost spočívá ve schopnosti papíru nepřenést barvu na předmět, s kterým je papír v bezprostředním kontaktu [PANÁK a kol., 2010].

Stárnutí

Vlastnost, která je způsobena působením vnějších a vnitřních faktorů (teplo, světlo, pH). Dochází k němu po určité době a má za následek změnu vlastností a estetického vzhledu [KAPLANOVÁ a kol., 2010].

Optické vlastnosti papíru

Mezi optické vlastnosti papíru patří bělost, opacita, lesk a stálost zbarvení na světle.

Bělost

Jedná se o optickou vlastnost papíru, která je definována jako reflektivita povrchu, neboli odrazivost. Její procentuální vyjádření se odvozuje od oxidu hořečnatého, který má odrazivost 100 %. Měří se pomocí reflektometrů nebo spektrofotometrů při vlnové délce 475 nm. Bělost ovlivňuje estetický vzhled, který má vliv na kvalitu tisku [POLYGRAFICKÉ TAHÁKY, 2009].

Opacita

Opacita, neboli neprůsvitnost, je schopnost papíru nepropouštět světelné paprsky. Tato schopnost je vyjádřena v procentech zadrženého světla – dokonale neprůsvitný papír má 100 %. U běžných papírů, které mají plošnou hmotnost 80 g.m^{-2} , je opacita 90 % [KAPLANOVÁ a kol., 2010].

Lesk

Lesk papíru je odvozen podle technologického postupu výroby papíru, a to především jeho povrchovou úpravou (kalandrování, natírání). Lesk papíru způsobuje zrcadlení, které je spjato se schopností odrazet dopadající světlo pod stejným úhlem, jako je úhel dopadu [KAPLANOVÁ a kol., 2010].

Stálost zbarvení na světle

Stálost zbarvení na světle je schopnost papíru, která zabraňuje změně odstínu barvy při působení světla – žloutnutí papíru [KAPLANOVÁ a kol., 2010].

4.3.3. Rozdělení papíru

Papír lze rozdělit do několika skupin podle kritérií, které mají vliv na výslednou kvalitu tisku – patří sem například hladkost, typ povrchu, složení atd.

Dělení podle plošné hmotnosti

- tiskový papír $50 - 150 \text{ g.m}^{-2}$
- karton $150 - 250 \text{ g.m}^{-2}$
- lepenka $> 250 \text{ g.m}^{-2}$

Dělení podle způsobu výroby

- ruční

- strojní

Dělení podle finálního zpracování

- archové
- kotoučové

Dělení podle materiálového složení

- bezdřevé
- středně jemné
- dřevité
- bělené a nebělené
- opticky bělené
- plněné a neplněné

Dělení podle typu povrchu

- nehlazené
- hlazené
- vysoce hlazené
- povrchově zušlechtěné

Dělení podle použití

- balicí
- grafické
- technické
- pro další papírenské zpracování
- speciální

Další dělení

- tapaten
- pečící papír

- nepromastitelný papír
- silikonový papír [KAPLANOVÁ a kol., 2010].

Podle normy ČSN EN 643 je sběrový a odpadní papír řazen do pěti normalizovaných skupin. Tato norma též udává, co papír může a nemůže obsahovat. V normě jsou obsaženy nejrozšířenější druhy materiálu, se kterými se lze na území Evropy setkat [ČSN EN 643, 2002].

Sběrový papír a lepenka jsou zařazeny do druhů podle kvalitativního třídění surovin dle normy ČSN EN 643 takto:

Skupina 1 – Běžné druhy

- smíšené papíry a lepenky (netříděné), smíšené papíry a lepenky (tříděné), šedá lepenka, použité obaly z vlnité lepenky, neprodané časopisy, vlnitý papír a lepenka z obchodních domů, telefonní seznamy, aj.

Skupina 2 – Středně kvalitní druhy

- noviny, neprodané noviny (bez flexografického tisku), neprodané noviny, slabě potištěné bílé odřezky bez lepidla, slabě potištěné bílé odřezky, silně potištěné bílé odřezky, barevné dokumenty, tříděný kancelářský papír, aj.

Skupina 3 – Vysoce kvalitní druhy

- směs odřezků bezdřevých tiskových papírů (světlých barev), bezdřevé knihařské odřezky, roztrhané bílé odřezky, bílá bezdřevá korespondence, bezdřevý potištěný papír, bílý novinový papír, bílé odřezky, aj.

Skupina 4 – Druhy obsahující sulfátový papír

- nové odřezky vlnité lepenky, použitá vlnitá lepenka s kraftlinerem, použité a nepoužité sulfátové pytle, použitý sulfátový materiál, nový sulfátový materiál

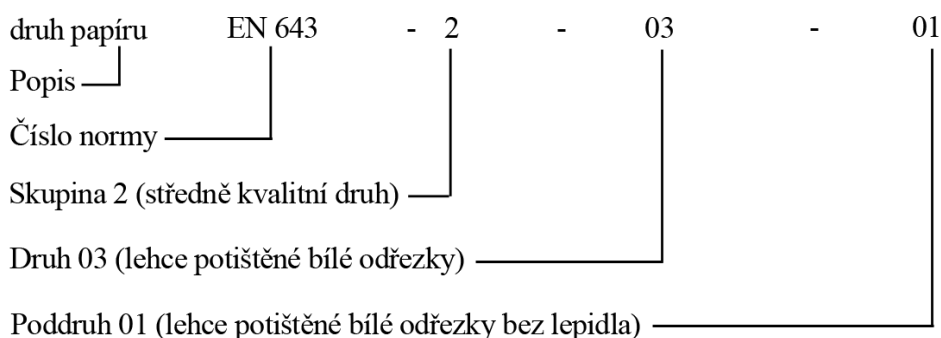
Skupina 5 – Speciální druhy

- směsný sběrový papír a lepenka, smíšené obaly, lepenkové obaly na tekutiny, obaly ze sulfátového papíru, mokré etikety, nepotištěné bílé bezdřevé papíry pevné za mokra, potištěné bílé bezdřevé papíry pevné za mokra [ČSN EN 643, 2002]

4.3.4. Označování papíru

Dle normy ČSN EN 643 je každý druh sběrového papíru očíslován dle jeho kvality a přiřazen podle kódového systému k příslušnému druhu, jak je patrné na Obr. 3. Nastane-li případ, že potřebný poddruh neexistuje, papír se připojí pod označením „00“ [ČSN EN 643, 2002].

Obr. 6 Příklad označování druhů sběrového papíru dle normy ČSN EN 643 [ČSN EN 643, 2002]



4.3.5. Využití papíru

Papír je díky svým vlastnostem, stejně jako výše uvedený plast, jednou z nejvýznamnějších komodit pro recyklaci a následné znovuvyužití. Nejběžnějším materiálovým využitím papíru je opětovná výroba v papírnách, případně jeho zpracování na jednotlivá vlákna [Papír EKO-KOM, 2017].

V České republice zajistila společnost EKO-KOM, a.s., v roce 2017 využití a recyklaci více než 218 tisíc tun plastů. Toto celkové množství odpovídá přibližně 47,3 kg za rok z každé domácnosti. Odpad z modrých kontejnerů je následně roztřizen a slisován na dotřídovacích linkách (denně 598 tun). Vytříděný papír (90 % je v ČR recyklováno a využito) směřuje ke zpracovatelům, kterými jsou papírny, ve kterých dochází k jeho opětovné produkci [Papír EKO-KOM, 2017].

Papír je možné recyklovat pětkrát až sedmkrát, a to do doby, dokud je papírenské vlákno dostatečně dlouhé. Do alternativního využití papíru patří výroba tepelných izolací, příměsí ve stavebním materiálu, energetické využití či výroba kompostu a bioplynu [Papír EKO-KOM, 2017].

5. Technika a technologie zpracování surovin

5.1. Zpracování plastového odpadu

Plastový odpad lze rozdělit podle místa původu do dvou základních skupin. Vratný technologický odpad je odpad, který vzniká ve výrobním procesu. Pokud tento odpad není znečištěn jiným nežádoucím materiálem, je možné ho vrátit zpět do výrobního procesu. Další odpad je takový, který se ke zpracování získává sběrem, proto ho označujeme jako odpad sběrový. Zpracování sběrového odpadu je kvůli znečištění komplikovanější, proto velice záleží na předcházejícím sběru a separaci [MÜLLER, 2008].

Proces zpracování plastového odpadu lze rozdělit do čtyř fází, které na sebe navazují.

5.1.1. Materiálová identifikace

V závislosti na druhu a složení plastového odpadu volíme vhodný technologický postup nacházející se na začátku řetězce zpracování plastů. Pro stanovení druhu plastu využíváme nejčastěji metodu flotační a metodu triboelektrickou. Další metodou je optická separace a ruční separace, která z finančního a časového hlediska není optimální [MÜLLER, 2008].

Flotační metoda

Metoda flotace spočívá v zachycení lehčí frakce ve vrstvě pěny, proto tuto metodu nazýváme pěnová flotace. Separace pomocí flotace se vyznačuje dobrou účinností, jednoduchostí procesu a nízkými finančními náklady [MÜLLER, 2008].

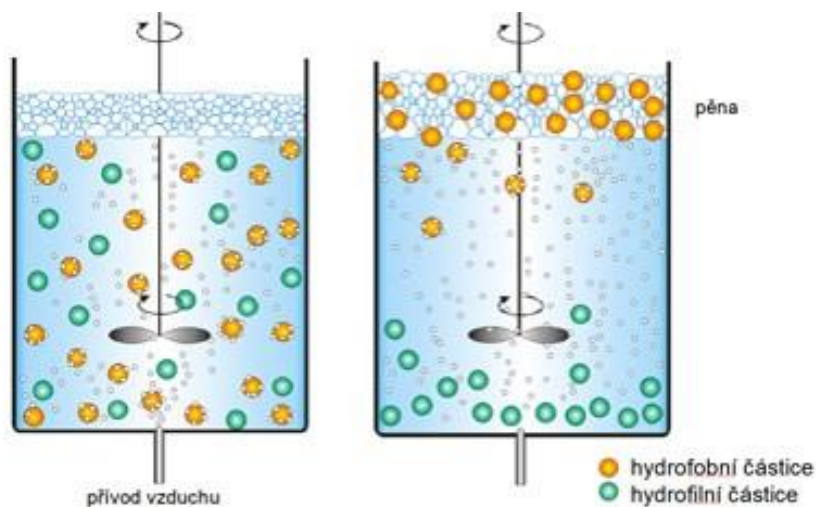
Mezi fyzikální vlastnosti, na kterých je flotace závislá, patří vlastnosti:

- fixní, které nelze ovlivnit - např. hustota
- modifikované, které lze ovlivnit – např. povrchová energie či velikost částic

Jelikož je metoda flotace silně závislá na povrchových vlastnostech, rozdělujeme tyto vlastnosti do čtyř skupin:

- rozdílná hodnota povrchového napětí kapaliny a separovaných složek
- selektivní smáčivost povrchů způsobená adsorpcí činidla
- selektivní smáčení způsobené fyzikálními podmínkami
- selektivní smáčení působením specifických chemikálií [MÜLLER, 2008]

Obr. 7 Flotační metoda [Laboratoř flotace, 2014]

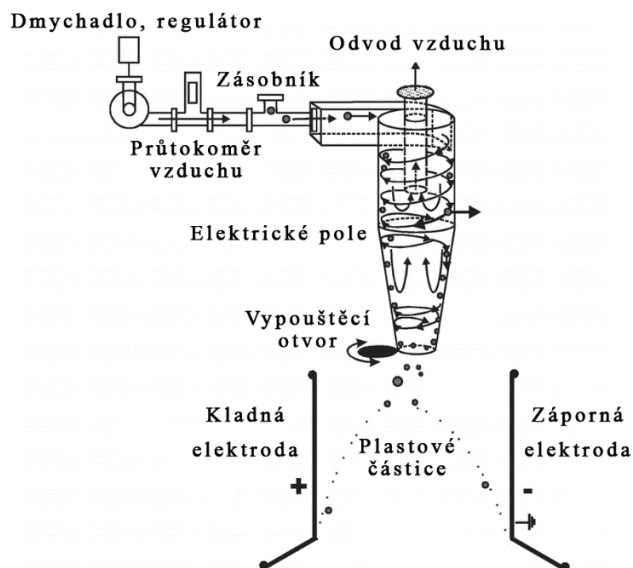


Triboelektrická metoda

Metoda triboelektrická spočívá v nabíjení plastů vlivem jejich tření o sebe. V porovnání s flotační metodou se jedná o spolehlivější proces. U flotační metody dochází k problémům spojených s podobnými hustotami jednotlivých druhů plastů [MÜLLER, 2008].

Samotná metoda začíná v zásobníku, odkud se vzduchem odstraní lehké nežádoucí příměsi. Hlavní fází procesu je průchod plastového odpadu přes stejnosměrné elektrické pole, kde dochází k nabití jednotlivých částic vlivem tření o sebe. V závislosti na jejich nabití se částice přemisťují k opačně nabitě elektrodě [MÜLLER, 2008].

Obr. 8 Triboelektrická metoda [DODBIBA, FUJITA, 2004]

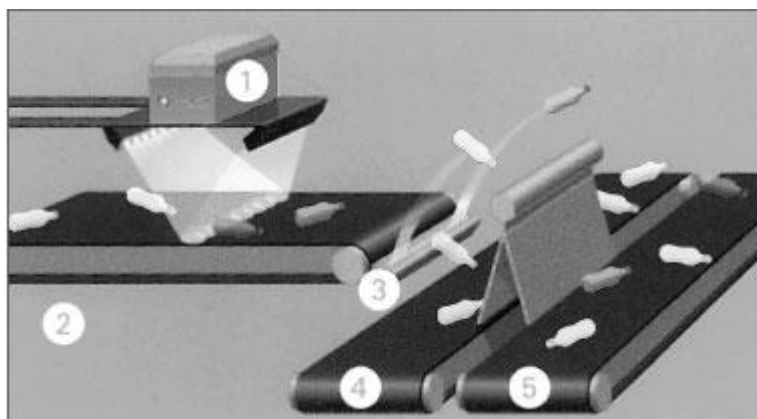


Optická separace

U této metody je materiál separován podle jeho zbarvení nebo průhlednosti. Další metoda je založená na zkoumání spekter, které se od sebe odlišují paprsky, které procházejí barevným či čirým plastem. Touto metodou se dá stanovit i umístění konkrétního materiálu na třídícím pásu, který je následně pomocí vzdušné trysky vytřízen do náležící separační buňky [MÜLLER, 2008].

Tato třídící linka je složena ze scanneru (1), který detekuje odpad pohybující se po dopravníku (2) směrem k vzduchovým tryskám (3). Materiál je následně vytřízen na dopravní systém s vytříděným materiálem (4) a zbytkovou frakci (5) [ODPADY-ONLINE, 2007].

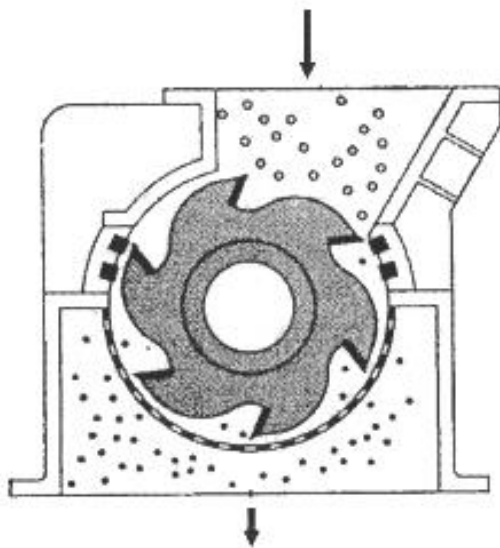
Obr. 9 Optická metoda [ODPADY_ONLINE, 2007]



5.1.2. Zdrobňování plastového odpadu

Fáze drcení, která se v některých případech musí vyskytovat již před fází separace, se provádí na nožových a rázových drtičích. Jejich volba se odvíjí od vlastností plastů, jejich rozměrů či jejich různorodého složení. Drtiče pracují na principu řezání a krájení a jejich konstrukce musí být taková, aby byla schopna snést odpor špatně drtitelných materiálů. Pro zajištění požadované výstupní velikosti frakce je nutné, aby plastový odpad prošel drtičem vícekrát. Pro zpracování plastů je možné využít i upravené mlýny, např. nožové mlýny, které jsou schopny rozmělnit vstupní plast na materiál s rovnoměrnou a požadovanou velikostí. K tomu slouží uvnitř uložené nože, které se otáčejí vysokou rychlostí [MÜLLER, 2008].

Obr. 10 Nožový drtič [MÜLLER, 2008]



5.1.3. Konečné zpracování plastového odpadu

Nejdůležitějším parametrem, od kterého se zpracování odvíjí, je jeho původ, jak už bylo dříve zmíněno. Jedná-li se o odpad technologický, je možné ho vrátit bez třídění zpět do výrobního procesu. U sběrového plastu je zapotřebí jeho sběr a separace doplněná o další technologické procesy, jako je praní a sušení. Pokud proběhne sběr, třídění a čištění na dobré úrovni, je možné ze sběrového plastu získat stejně hodnotný materiál jako je odpad technologický. Konečné zpracování lze rozdělit na regranulaci a přímou recyklaci [BOEUT, 2014].

Regranulace

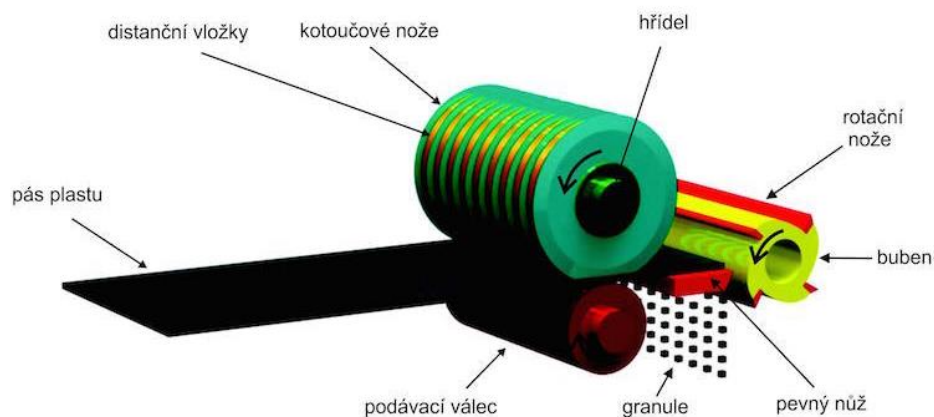
Před samotnou regranulací je nutné připravit vstupní materiál – plastovou drť, která bude splňovat požadovaný vstupní rozměr. Takto připravený materiál je převáděn do plastického stavu, odkud je dopraven do granulačního zařízení. Zde získá nadrcený homogenizovaný materiál finální podobu granulátu, který je určen pro další zpracování na strojích k tomu určených. Podle chování plastu v oblasti taveniny, požadovaném výkonu a na ekonomice vybíráme granulační metodu [MÜLLER, 2008].

Existují dvě základní metody granulace plastů:

- granulace z pásu
- granulace ze strun
 - za studena
 - za tepla

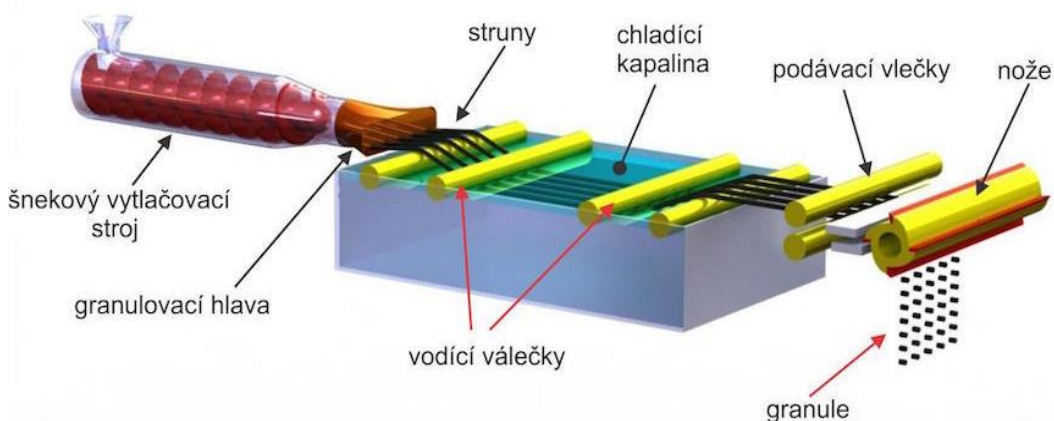
Granulace z pásu není vhodná pro materiály s velkou tvrdostí. Jedná se o technologii, při které dochází k rozřezání vstupního materiálu, který má tvar desky na proužky. Tyto proužky se dále rozsekají na granule požadované velikosti. Používá se při zpracování např. polyamidu (PA) [BOEUT, 2008].

Obr. 11 Granulace z pásu [PUBLI, 2015]



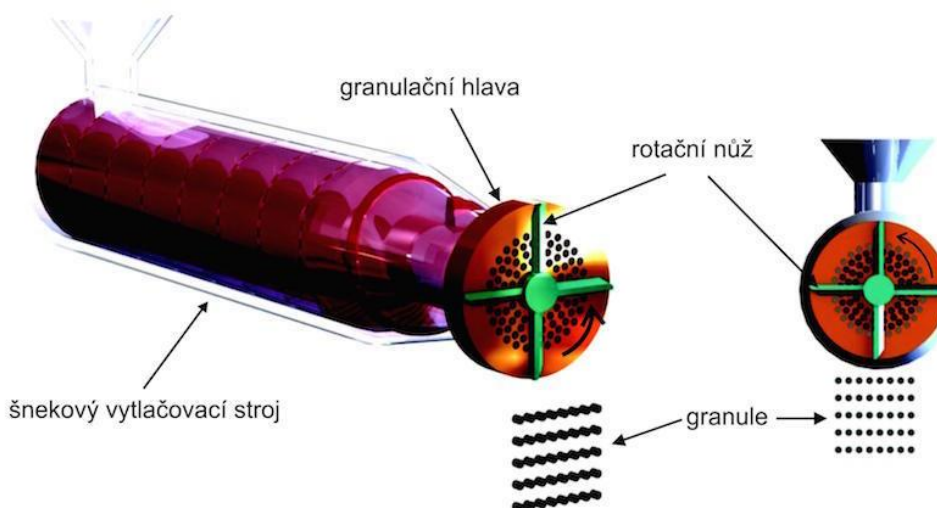
Granulace ze strun je technologie, která k vytvoření meziprojektu – struny, využívá granulaci hlavu, která obsahuje velké množství otvorů. Při granulaci strun za studena dochází k ochlazení granulacních strun a jejich následnému sekání. Vzniklé granule je však nutné usušit, kvůli předchozímu styku s vodou. Používá se pro většinu termoplastů [PUBLI, 2015].

Obr. 12 Granulace ze strun za studena [PUBLI, 2015]



Granulace ze strun za tepla dochází k odřezání granulí, ihned po vytlačení tekutého plastu z granulační hlavy. Tato technologie může probíhat za současného působení vody, nebo s následným ochlazením ve vodní mlze [PUBLI, 2015].

Obr. 13 Granulace ze strun za tepla [PUBLI, 2015]



Přímá recyklace ve formě výrobků

Přímá recyklace je proces, který je na hranici mezi procesem zpracování a finální výrobou. Nedochází u něj ke granulaci, nýbrž je zpracován na požadované výrobky. Aby bylo možné plasty zpracovat na konečné produkty, je nutné, aby prošly přípravným zařízením, kde dojde k úpravě jejich struktury. To se provádí přidáním přísad, které jsou uvedeny v kapitole 4.2.2. Vlastnosti plastů. Pro dodržení čistoty je nutné taveninu přefiltrovat, aby byla zbavena nežádoucích nečistot [MÜLLER, 2008]

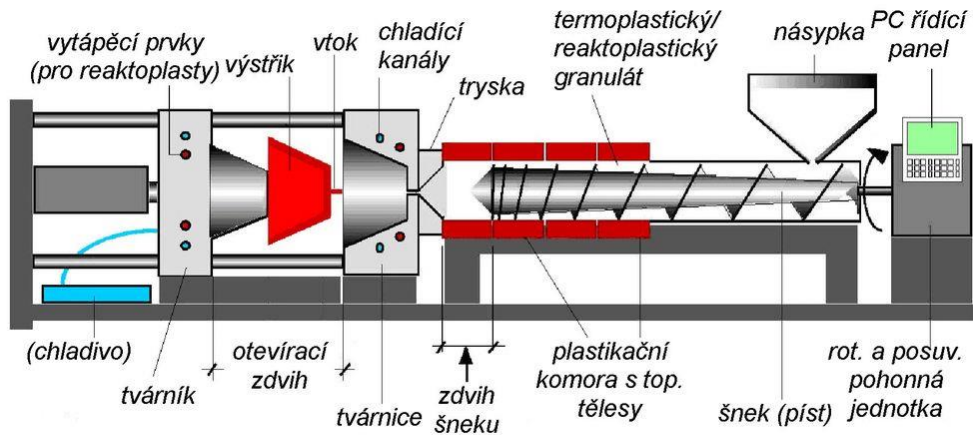
Hlavními technologiemi využívaných pro přímé zpracování na výrobky je vstřikování a vytlačování.

Vstřikování

Tato technologie je založená na vstřikování připraveného plastu ve formě taveniny do vstřikovací formy s finálním tvarem výrobku. Jedná se o levnou, rychlou a kvalitní výrobu. Regranulát je nasypán do násypky, z níž je přemísťován částí vstřikovacího stroje do tavicí komory, kde se přeměňuje na taveninu. Odtud míří do dutiny formy, kterou zaplní a získá finální objem a tvar. Pro co nejmenší smrštění následuje fáze dotlaková, kdy je přenášeno

teplo z výrobku na formu. Postupným ochlazením vznikne konečný produkt, který je po otevření formy vyjmut a celý proces se znovu opakuje [KSP.TUL, 2008].

Obr. 14 Vstřikování plastů [KSP.TUL, 2008]

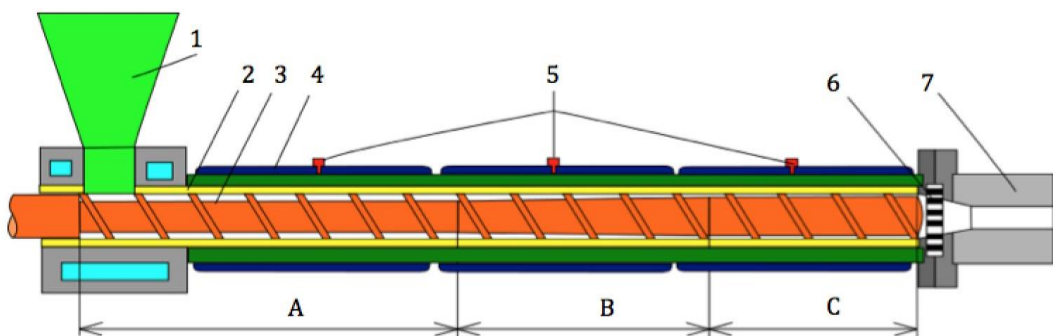


Vytlačování

Vytlačování je technologická operace, při které dochází k vytlačování hmoty v plastickém stavu přes vytlačovací hlavu. Na přední části stroje v plnicí části je násypka (1) na vstupní granulát, který je pomocí šneku (3) dopravován přes ohřívací pásmo (4) až k vytlačovací hlavě (7). Šnek se pohybuje ve válci (2), ve kterém dochází k promíchání a homogenizaci materiálu s následným převodem do plastického stavu. Dochází k jeho zhutnění, a pod tlakem je vytlačován přes lamač (6), který slouží k další homogenizaci, do vytlačovací hlavy [KSP.TUL, 2008].

V současnosti se jedná o jednu z nejvyužívanějších metod, která se používá pro výrobu fólií, trubek, kabelů aj.

Obr. 15 Vytlačování plastů [KSP.TUL, 2008]



5.2. Zpracování papírového odpadu

Součástí technologie papírenské výroby je zpracování papíru jako druhotné suroviny. Pokud se zpracovává sběrový papír, je nutné přidávat čerstvá vlákna, jelikož dochází ke zhoršení jeho vlastností po vícenásobné recyklaci. K výrobě papíru lze použít sběrový papír, který nedosáhl šestinásobného návratu do výrobního procesu. Po jeho šesté recyklaci dojde ke zkrácení vláken, kvůli kterým papír ztrácí své vlastnosti a dochází k velké zátěži vodního hospodářství papíren [MÜLLER, 2008].

5.2.1. Možnosti využití papíru

Při využití odpadního papíru je kladen důraz na jeho materiálové využití, proto na prvním místě jeho zpracování je opětovná recyklace na papír. K dalším variantám se přistupuje v případě, že není možné splnit první podmínku, tedy materiálové využití [HNĚTKOVSKÝ, 1983].

- Opětovná recyklace na papír – při tomto zpracování dochází k znovuvyužití celulózových vláken, určených pro výrobu papíru.
- Kompostování – aby vznikl konečný produkt oxid uhličitý, voda a biomasa je nutné, aby byl papír schopen se rozložit.
- Energetické využití – dochází ke spalování papíru, kdy je využit jeho energetický potenciál [MÜLLER, 2008].

5.2.2. Sběr odpadního papíru

Ke sběru odpadního papíru slouží sběrná místa, jako je sběrný dvůr či modré kontejnery. V závislosti na místě vzniku a ročním období dochází ke kolísání množství a kvality sběrového papíru. Aby došlo ke zvýšení účinnosti sběru je velice důležité, aby papír dotříděný a slisovaný u provozovatelů třídících linek byl skladován v suchých a zastřešených prostorech [MÜLLER, 2008].

Jak bylo uvedeno v kapitole 4.3.3. Rozdělení papíru, dělíme papír do pěti kvalitativních skupin. Základním rozdělením je však skutečnost, zda je papír vhodný, či nevhodný k recyklaci. Papír, který je pro následné zpracování vhodný, je ten, který je méně zušlechťen a klížen. Je to např. kancelářský, novinový a časopisový papír [MÜLLER, 2008].

Papír, který není vhodný nebo zcela nepoužitelný je takový, který je složen z více složek. Jsou to výrobky, které jsou doplněny o plastové či hliníkové fólie. Dále sem patří

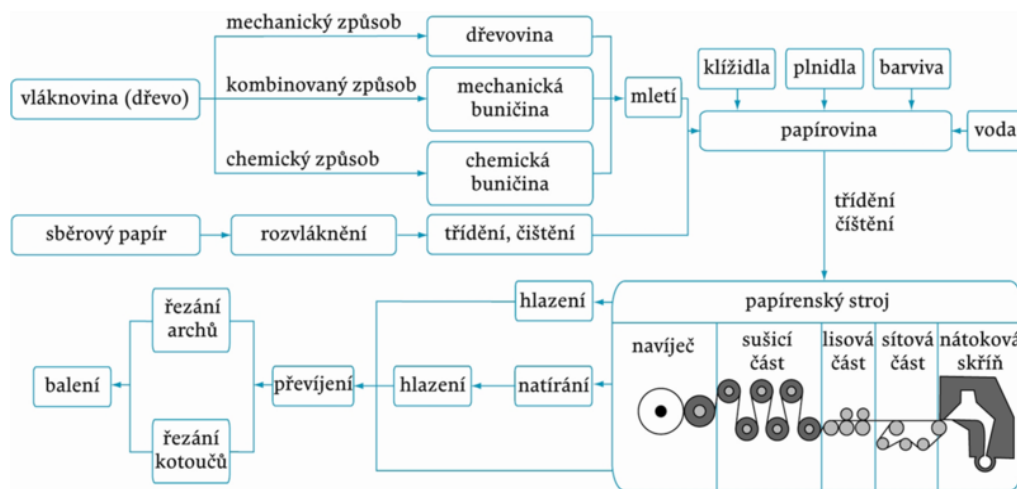
impregnovaný papír, papír silně rozmělnění při předchozím zpracování, natírané papíry, papíry znečištěné nebo hygienicky závadný papír. Tyto papíry je vhodné spalovat, případně některé z nich kompostovat [MÜLLER, 2008].

5.2.3. Postupy zpracování papíru

Pro zpracování papírového odpadu se využívá technologických linek, které se liší podle použité technologie, nebo jednotlivých strojních zařízení, které je součástí linky jako celku. Linky mají společné rysy, liší se pouze v typech použitých strojů, jejich řazením nebo počtem. Linky jsou sestavovány tak, aby po stránce strojní a technologické odpovídali předepsané kvalitě koncového produktu, který mají za cíl zpracovat [DOLEŽAL, 2004].

Výrobní proces papíru lze definovat, jako přeměna vodolátky na buničinu, která se v následující fázi nanáší na síto. Dále dochází k průchodu skrz sušící válce, kalandry a hladící válce. V těchto fázích dochází ke zbavení papíru nežádoucí vody. Po uvedených procesech, se hotový papír namotává na role a je expedován k dalším operacím – řezání na určitý formát atd [MÜLLER, 2008].

Obr. 16 Schéma zpracování papírového odpadu [ELUC, 2014]



Při zpracování papíru v papírnách je nutné dodat jeho dostatečné množství. Proto se posílají balíky o velkých rozměrech a velké objemové hmotnosti. U již zmíněných technologických linek s jejich strojním zařízením určeným pro znovuzískání buněčných vláken a jejich následným využitím se liší pouze v uspořádání. Do linky je také možno zařadit speciální stroje, které slouží k separaci, čištění, zahušťování nebo bělení papíru [DOLEŽAL, 2004]

Při rozvlákňování papíru v papírnách dochází k jeho přeměně na papírovou vlákninu a různé příměsi, tzv. kašovitou hmotu. Do příměsí patří plniva, klíždla a další prostředky. Při průchodu papíru papírenským strojem, dochází k jeho sušení, lisování, kalibraci na požadovanou tloušťku a hlazení. Výsledným produktem na strojích s dlouhým nebo podélným sítem je papír a karton. Lepenka je vyráběna na papírenských strojích s kulatými síty nebo na strojích s kombinací kruhových a podélných sít [MÜLLER, 2008].

Pro zpracování papíru se využívají čtyři základní způsoby, a to suchá cesta, mokrá cesta, termodisperzní metoda a zesvětlovači způsoby.

Suchá cesta

Suchou cestu využíváme v případě, že zpracováváme čistý nebo tříděný papír. Nelze zpracovat papír horší jakosti. Nejčastějším vstupním materiálem je papír, který byl vyrazen ve výrobě. Při tomto zpracování dochází k hnětení papíru v hnětačích nebo trhačích, přičemž dochází k zahřívání a hydratování vláken vlivem vzniklého tlaku. Aby došlo k poklesu sušiny vlákniny na požadovaných 20 %, je nutné přidávat malé množství vody [DOLEŽAL, 2004].

Mokrá cesta

První částí mokré cesty je rozvlákňování, kde se převádí papír na vodolátku, která směřuje na další zpracování – rozvlákňovač horizontální a vertikální. Při znečištění papíru nečistotami, jako jsou nitě, dráty, sponky, aj.), dochází k jejich smotání a následnému vyjmutí. Z takto předčištěné látky je nutné odstranit shluky vláken, k čemuž slouží dovlákňovače. Poslední částí linky je plochý vibrační třidič, na kterém dochází k odseparování vznášejících se nečistot [HNĚTKOVSKÝ, 1983].

Termodisperzní metoda

Prvním krokem u termodisperzní metody je rozvlákňování papíru s následným hrubým očištěním a zbavením písku. Aby bylo možné látku zahustit na přibližně 30 % sušiny, je nutné jí předem zahustit. Toto zahuštění se provádí na šroubových extraktorech. Zahuštěná látka je ohřívána párou v tlakových jednotkách, aby došlo k dovlákňování a rozptýlení tavitelných příměsí. Děj nastává při ohřátí zahuštěné látky na 120–150 °C. Poslední fází zpracování je jako u předchozích metod dotřídění, kde dochází k oddělení nežádoucích materiálů od vláken. Těmito materiály může být plast, pryž nebo nitě. Po této metodě vzniká vláknina, která se vyznačuje svými výbornými pevnostními vlastnostmi [MÜLLER, 2008].

Zesvětlovací způsoby

Zesvětlovací způsob zpracování je určen pouze pro vyříděný materiál, u kterého se z potištěného papíru odstraňují barvy. Tímto způsobem je možné vrátit vláknům jejich původní bělost. K uvolnění tiskových barev je nutné přimíchat alkalické chemikálie. Po jejich přidání se tisková barva uvolní na nosičích a následně je praním a flotací odstraněna z vlákniny [MÜLLER, 2008].

5.2.4. Postupy používané při výrobě papíru

Výrobní linka papíru by měla obsahovat tyto procesy: skladování papíru, rozvlákňování papíru, mechanické odstranění nečistot, procesy sloužící k zesvětlení a čištění provozní vody. Dalším procesem, který se však využívá v případě, že u finálního produktu je vyžadována vyšší kvalita, jsou zesvětlovači způsoby [MÜLLER, 2008].

Skladování sběrového papíru

Do papíren je svážen papír volně v kontejnerech, vhodnějším způsobem je však slisovaný balík zajištěný kovovými dráty. Takto svezený papír se před vlastním zpracováním skladuje v přilehlých prostorách papíren [HNĚTKOVSKÝ, 1983].

Rozvolňování sběrového papíru

Jedná se o mechanický proces, při kterém dochází ke zbavení kovových drátů, kterými je balík svázán. Po tomto uvolnění se musí balík nakypřit tak, aby se při dalším zpracování dostala voda a nasycená pára k celému obsahu balíku [KORDA, 1991].

Rozvlákňování sběrového papíru

Rozvlákňování je mechanický proces, který se dá považovat za další stupeň rozvolňování papíru. Dochází k rozdělení sběrového papíru na jednotlivá vlákna a na jejich svazky. Tento proces se uskutečňuje ve vířivém rozvlákňovači, kde se uplatňuje hydrodynamické působení vody na papír. Při hlavním procesu rozvlákňování dochází k současnému bobtnání sběrového papíru a uvolňování vazeb mezi vlákny [KORDA, 1991].

Dovláknování sběrového papíru

Dovláknování je proces, při kterém dochází ke konečnému dovláknění na jednotlivá vlákna. Celý proces probíhá ve vodní suspenzi dovláknovacích zařízení (kuželová, tlakově-

hydraulická, pařící, disková, aj.). Při oddělení jednotlivých vláken se uvolňují nečistoty, které při předchozích postupech nebyly odstraněny [HNĚTKOVSKÝ, 1983].

Separace nečistot

Při separaci se od jednotlivých vláken odděluje nevláknitá nečistota, která by v navazujících fázích způsobila výrobu nekvalitního papíru. Celý proces je založen na rozdílné hustotě, velikosti vláken a nečistot. Pro tuto operaci se využívá sedimentace, vodní vír, odstředování, prosévání, flotace, aj. Výsledným produktem je papírová suspenze, která může obsahovat drobné nečistoty, převážně polymerní látky, které mohou způsobit zalepení otvorů papírenského síta, přilepení na sušící válec aj. Je to způsobeno jejich nízkým bodem teploty tání. Takovéto nečistoty označujeme jako stickies, které negativně ovlivní kvalitu produktu – sklovité skvrny [KORDA, 1991].

Zahušťování, zesvětlování, bělení vodolátky

Zahušťování je postup, který je nutný pro další operace, jako je dovlákňování, mletí, zesvětlování, atd. Spočívá v navýšení hustoty rozvolněných vláken, na které navazují výše zmíněné navazující operace [KORDA, 1991].

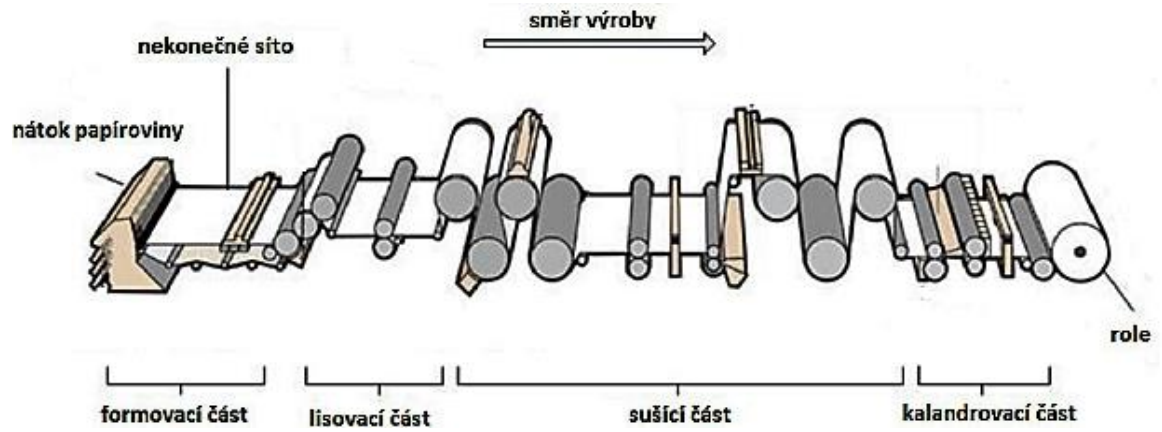
Zesvětlování je mechanicko-chemický proces, označovaný jako deinking, při kterém dochází za použití chemikálií, mechanické energie a tepla k odstranění mikročástic tiskové barvy z povrchu vláken. Další fází je deinking vypírací, při kterém se proudem vody vyplavují tiskové barvy, klížidla, pigmenty atd. Deinking flotační je založen na flotaci, kde dochází k odstranění tiskařské černě. Poslední možností je kombinace flotace s vypíráním, tzv. deinking kombinovaný [HNĚTKOVSKÝ, 1983].

Bělení je proces, při kterém dochází k vybělení vlákniny na požadovanou bělost. V závislosti na zbarvení vlákniny a na složení vodolátky se volí systém s kyslíkatými sloučeninami chlóru nebo s peroxidy. Kvůli vysokým nákladům se však bělení u sběrového papíru neprovádí [HNĚTKOVSKÝ, 1983].

Vlastní výroba papíru

Po provedení všech předchozích operací se papír doplní o pojiva, klížidla a další prostředky. Před zpracováním v papírenském stroji prochází vláknina přes síta. V papírenském stroji probíhá předsoušení, lisování, kalibrace, hlazení a dosoušení, po kterém vzniká finální produkt – papír [MÜLLER, 2008], [PRÁŠILOVÁ, KAMENÍČEK, 2007].

Obr. 17 Papírenský stroj [PRÁŠILOVÁ, KAMENÍČEK, 2007]



6. Termické zpracování surovin

K termickému zpracování odpadu by se mělo přistupovat v případě, není-li možné surovinu zpracovat materiálově. Jedná se o metodu nakládání s odpady, při které vzniká energie, která by musela být zajištěna jiným zdrojem [MÜLLER, 2008].

Do termického zpracování je zahrnuto spalování, zplyňování a pyrolýza.

6.1. Složení spalitelných odpadů

U materiálu, který spalujeme, záleží na jeho složení, a to z důvodu jeho samostatného hoření. Tento materiál, který hoří sám bez asistence podpůrného paliva, nazýváme palivo. Materiály, u kterých je nutné přivádět zmíněné podpůrné palivo, mohou obsahovat vyšší podíl nespalitelných částic, případně je materiál velmi vlhký.

V materiálu rozeznáváme látky hořlavé a nehořlavé. Do hořlavých látek, které se účastní exotermní reakce, řadíme uhlík, vodík, a síru. Mezi nehořlavé látky, které se též označují jako balast, patří obsah popela, obsah vody a dusík. Dalšími látkami, které se účastní hoření jsou chlor a kyslík. Jedná se o nežádoucí plyny, z nichž kyslík reaguje s ostatními prvky za vzniku vody. V případě chloru se jedná o toxický plyn, který má korozivní účinky.

Mezi pro spalování odpadu je výhřevnost 5 MJ.kg^{-1} . Tato mez odpovídá tomuto procentuálnímu složení odpadu:

- Obsah popela v palivu A ($< 60 \%$)
- Obsah vody v palivu W ($< 50 \%$)
- Obsah hořlaviny C ($> 25 \%$) [MALAŤÁK, 2010].

Popelovina

Jedná se o směs různě chemicky vázaných minerálů, jako například sulfidy, sulfáty, jílové minerály atd. V popelovině během spalování probíhají chemické reakce a dochází ke vzniku popela. Se zvyšujícím se obsahem vody a popeloviny dochází ke snížení výhřevnosti [MALAŤÁK, 2010].

Voda v palivu

Voda se nachází v jakémkoliv materiálu a má za následek snížení výhřevnosti. Zároveň dochází ke zvýšení objemu spalin, snížení spalovací teploty a prodlužuje dobu zapalování paliva [MALAŤÁK, 2010].

Hořlavina

Hořlavina je nejvýznamnější složkou paliva, tedy nositelem energie. Jak bylo uvedeno výše, skládá se z uhlíku, vodíku, síry a dusíku. Jediným prvek, který se přímo neúčastní vlastního spalování je dusík [MALAŤÁK, 2010].

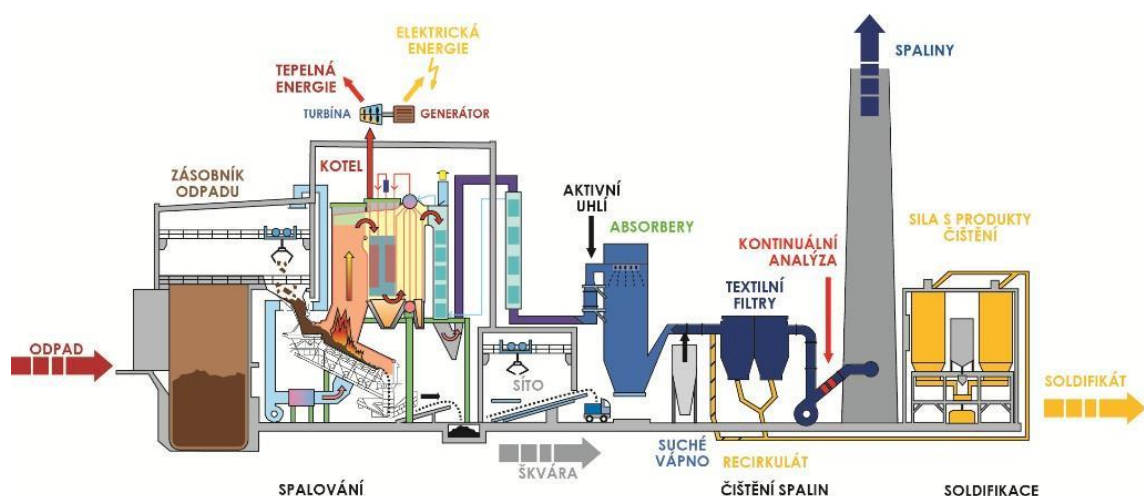
6.2. Spalování

Spalování lze definovat jako kontrolovaný proces oxidace pevných, plyných nebo kapalných odpadů, které lze spálit za vzniku oxidu uhličitého (CO_2), vody (H_2O) a popelu. U plastů se jedná o velice důležitou energetickou surovinu, kvůli své vysoké výhřevnosti. Spalování se uskutečňuje v pecích fluidních nebo na posuvném roštu. Při spalování plastů v pecích s posuvným roštem dochází k pohybu roštnic, které posunují palivo a zároveň ho mísí. U fluidních pecí je nutné vstupní materiál rozdrtit na stejnorodou zrnitost, do kterého se následně vhání plyn. Dochází ke zvěření zrn, která se následně intenzivně spalují v celém objemu ohniště [KEPÁK, 2010].

Pro spalování je nutné zajistit dostatečné množství spalovacího vzduchu, přívod tepla pro rychlé zahřátí odpadu na zápalnou teplotu, dostatečný vývin tepla – teplota hoření a zajištění zdržení spalin ve spalovací komoře dostatečnou dobu [MÜLLER, 2008].

Mezi přednosti spalování lze zařadit snížení objemu odpadu až o 90 %, snížení váhy o 70 %, využití energie, hygienická nezávadnost ukládaného odpadu, minimalizace nákladů na dopravu a zabezpečení ochrany ovzduší [KEPÁK, 2010].

Obr. 18 Schéma spalovny odpadu – Sako Brno [SAKO, 2013]



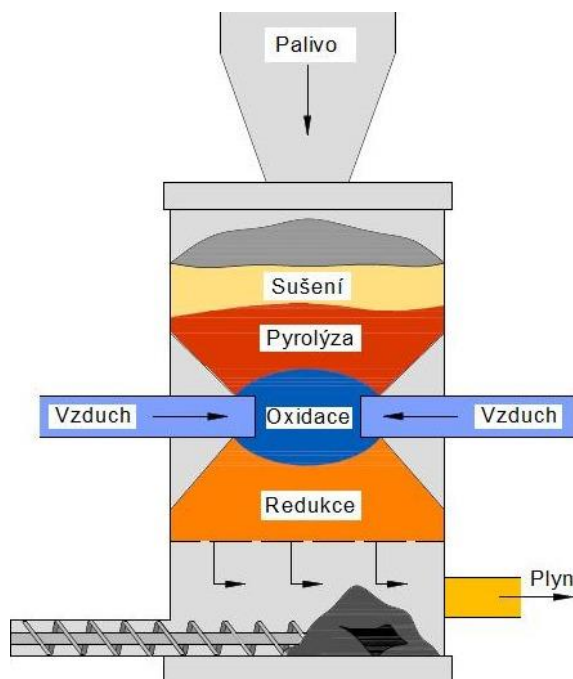
Tab. 3 Spalná tepla vybraných plastů, pryže a jiných materiálů [KEPÁK, 2010]

| Látka | Spalné teplo, kJ kg ⁻¹ |
|--|-----------------------------------|
| Polyethylén | 46 300 - 49 000 |
| Polypropylén | 44 200 - 46 800 |
| Polystyrén | 40 300 - 45 600 |
| Kopolymer akrylonitril/butadien/styrén | 38 700 - 45 600 |
| Polykarbonát | 29 600 - 32 400 |
| Akrylátové koberce a podlahoviny | 24 000 - 27 900 |
| Polymethymethakrylát | 28 000 |
| Lehčený polyuretan | 20 900 - 32 600 |
| Polvinylchlorid | 20 900 |
| Polyamid | 20 200 - 25 600 |
| Pryže | 32 000 - 43 000 |
| Černé uhlí (ČR) | 23 600 |
| Hnědé uhlí energetické (ČR) | 13 100 |
| Dřevo (různé druhy) | 11 600 - 20 900 |

6.3. Zplyňování

Při zplyňování dochází k přeměně tuhého materiálu, který je v něm obsažen, na energii, tzv. plynné palivo. Zplyňování lze definovat jako řízený tepelný rozklad látek v reakčním prostoru s teplotou vyšší než 800 °C a obsahem kyslíku, vedoucí k přeměně uhlíkatých materiálů na plynné hořlavé látky. Proces zplyňování probíhá ve fluidních reaktorech, rotačních válcových pecích, šachtových pecích a trubkových reaktorech. V průběhu zplyňování dochází k oxidačním procesům, kde vzniká topný plyn, který obsahuje velké množství oxidu uhelnatého (CO) a pyrolýzní procesy, u kterých vzniklý topný plyn má velký obsah methanu (CH₄) a jiných uhlovodíků [MÜLLER, 2008], [KEPÁK, 2010].

Obr. 19 Schéma procesu zplyňování [VYTÁPĚNÍ.TZB, 2017]



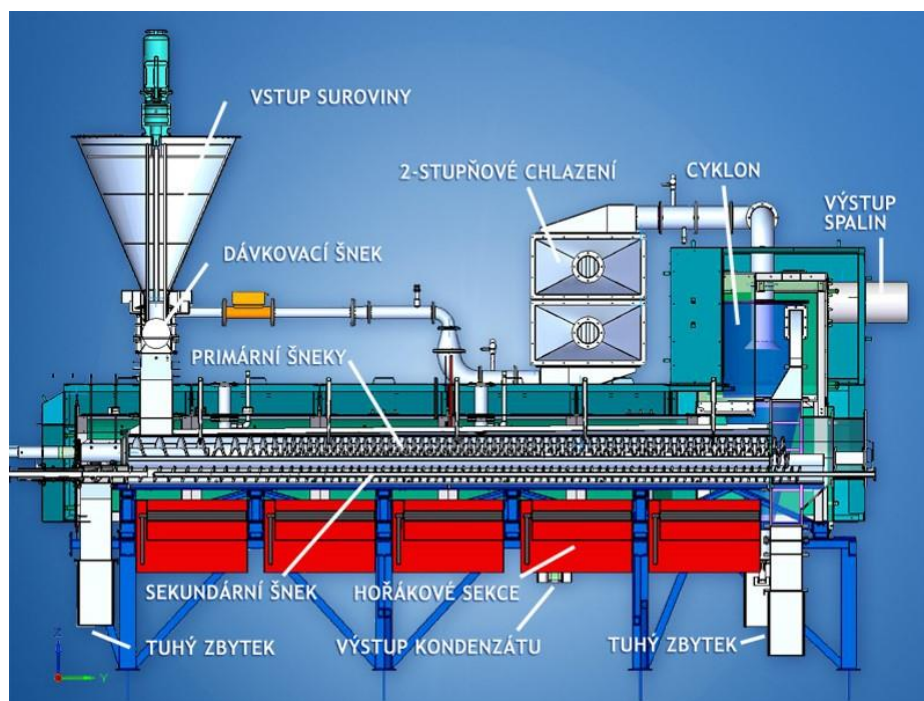
6.4. Pyrolýza

Pyrolýza lze definovat jako proces tepelného rozkladu odpadních látek probíhající bez přístupu vzduchu ve vytápěné pyrolýzní komoře při teplotách 500 – 1000 °C. Podstatou pyrolýzy je rozštěpit makromolekulární látky, které jsou za vyšších teplot méně stabilní, na látky nízkomolekulární [VÁŇA, HANČ, HABART, 2009].

Celý proces pyrolýzy závisí na vlastnostech vstupního materiálu, obsahu vlhkosti a pyrolýzní teplotě. Prvním krokem je sušení materiálu při teplotách do 200 °C, kdy dochází k uvolnění vody, která se přeměňuje na vodní páru. Jelikož se jedná o endotermický proces, je nutné přivádět dostatečné množství tepla. Po sušení následuje suchá destilace, probíhající při teplotách 200 °C až 500 °C, u které dochází k přeměně vysokomolekulárních látek na kapalnou a plynnou látku a uhlík. Při teplotách nad 500 °C dochází k transformaci a dalšímu štěpení produktů vzniklých při předchozí suché destilaci [MÜLLER, 2008].

Vzniklé produkty a s nimi i jejich tepelná účinnost závisí na správnosti celého procesu a povaze vstupujícího materiálu. Při nedodržení dostatečné teploty dochází k vyšší produkci dehtu a koksových frakcí. Vzniklými produkty pyrolýzy je vodík, metan, benzin, plynový olej, které se využívají v navazující chemické výrobě [MÜLLER, 2008].

Obr. 20 Schéma procesu pyrolýzy [STROBO, 2010]



6.5. Stechiometrie spalovacích procesů

Základem každého výpočtu tepelné práce spalovacích zařízení je prvkový rozbor spalovaného paliva. Tento prvkový rozbor paliva je významný pro výpočty stechiometrie, tepelné účinnosti a ztrát spalovacích zařízení.

Charakteristiky paliva jsou doplňovány stechiometrickými výpočty, které jsou základem pro veškeré tepelné výpočty. Těmito výkony se stanovuje:

- výhřevnost paliva,
- množství kyslíku potřebného k dokonalému spalování,
- složení a množství spalin,
- měrná hmotnost spalin,
- teoretická, praktická a adiabatická spalná teplota [MALAŤÁK, 2010].

6.5.1. Výpočty spotřeby vzduchu a množství spalin

Podle podmínek rozeznáváme tři spalovací procesy:

Dokonalé spalování

U dokonalého spalování se jedná o takové spalování, při němž dojde ke spálení veškerých hořlavých složek paliva, takže ve vzniklých spalinách nejsou tyto hořlavé složky

obsaženy. Lze ho dosáhnout při dokonalém promísení paliva se vzduchem. V praxi je však množství spotřebovaného vzduchu vyšší, než je jeho teoretická hodnota – jedná se o tzv. přebytek spalovacího vzduchu. Pomocí součinitele přebytku vzduchu lze určit poměr mezi teoretickou a skutečnou spotřebou [MALAŤÁK, 2010].

Nedokonalé spalování

V případě nedokonalého spalování se jedná o takový druh spalování, při němž nedojde ke spálení veškerých hořlavých složek paliva, takže ve vzniklých spalinách se tyto hořlavé složky nacházejí. U tohoto spalování je přebytek vzduchu menší než 1 a má za následek zhoršení tepelné účinnosti paliva [MALAŤÁK, 2010].

Smíšené spalování

Jedná se o spalování, které ve svých spalinách obsahuje jak oxid uhličitý, tak i oxid uhelnatý.

Výpočet pro určení spotřeby vzduchu a množství spalin je možno uskutečnit třemi způsoby:

- dle údajů elementární analýzy pomocí stechiometrických rovnic
- pomocí vzorců, které jsou však pro různé druhy paliv odlišné
- grafickými metodami [MALAŤÁK, 2010].

6.5.2. Spalné teplo a výhřevnost

Při spalování dochází ke sloučení hořlavých látek paliva s kyslíkem za vzniku produktů spalování. Tyto produkty jsou nazývány spaliny. S tímto pochodem dochází zároveň k uvolňování určitého množství tepla, které se vztahuje na hmotnostní jednotku ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) za normálních podmínek ($t = 0\text{ }^\circ\text{C}$, $p = 101,3\text{ kPa}$). Toto uvolněné teplo se vyjadřuje jako spalné teplo nebo výhřevnost.

Spalné teplo je takové množství tepla, které se uvolní při dokonalém spálení měrné jednotky paliva za předpokladu, že se následně spaliny ochladí na $0\text{ }^\circ\text{C}$ a veškerá vzniklá pára zkondenzuje. Značí se Q_s^r .

Výhřevnost je takové množství tepla, které se uvolní při dokonalém spálení měrné jednotky paliva za předpokladu, že se následně spaliny ochladí na $0\text{ }^\circ\text{C}$ a vlhkost paliva zůstane ve spalinách jako vodní pára.

Z toho vyplývá, že hodnota výhřevnosti je nižší než hodnota spalného tepla, a to o množství tepla, které je potřebné pro ohřev vody z původní teploty paliva na 100 °C a o skupenské teplo vypařování vody.

Vztah mezi výhřevností a spalným teplem lze vyjádřit vztahem:

$$Q_i = Q_s - (0,02442 \cdot 1000) \cdot (W + 8,94 \cdot H) \text{ (kJ} \cdot \text{kg}^{-1}; \text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}_N), \quad (1.1)$$

kde: W obsah vody ve vzorku (%),

8,94 koeficient pro přepočítání vodíku na vodu,

H obsah vodíku ve vzorku (%),

0,02442 hodnota odpovídající energii spotřebované na ohřev a vytápění vody

[MALAŤÁK, 2010].

7. Výchozí podmínky v podniku

7.1. Představení společnosti HBH odpady s.r.o.

Firma HBH odpady s. r. o. je ryze česká soukromá firma, která navázala na působení firmy Jiří Holešák – HBH Sběr surovin fungující na trhu od roku 1991. Zabývá se především výkupem, sběrem a úpravou druhotných surovin, jako je papír, plasty, sklo, železný šrot a barevné kovy. Pro obce a město Havlíčkův Brod společnost provozuje sběrný dvůr, ve kterém též zajišťuje zpětný odběr elektrozařízení. Mezi další činnosti patří i přistavování, odvoz a odstraňování odpadů pomocí kontejnerů, dále i svoz nebezpečných odpadů.

Pracoviště firmy jsou vybavena moderními technickými zařízeními používanými v oblasti nakládání s odpady. K nejvýznamnějším patří moderní linka na třídění odpadů tvořená lisem a soustavou dopravníků s automatickým ovládním a programováním.

Firma se stala spoluzakladatelem obchodní společnosti REMAT TRADE s.r.o. Brno, která patří na území České republiky k největším dodavatelům sběrového papíru.

V roce 2005 firma HBH odpady s. r. o. zavedla integrovaný systém řízení a stala se tak držitelem certifikátů dle normy ČNS EN ISO 9001 - systém jakosti a ČSN EN ISO 14001 - systém environmentálního managementu.

Firma HBH odpady s.r.o. vnímá v rámci svého podnikání silnou spoluodpovědnost za odpady svých zákazníků, a to jak firem, tak občanů. Posláním firmy je zajistit v maximální možné míře využití těchto odpadů tak, aby co nejmenší množství z nich muselo být uloženo na skládce či odstraněno ve spalovně. S tím souvisí i důraz na informování občanů a firem a spoluúčast na vytváření systému svozu a třídění využitelných odpadů a sběru odpadů od občanů.

Společnost HBH odpady s.r.o. je též členem SPDS-APOREKO (Svaz průmyslu druhotných surovin), který zajišťuje svým členům informační a obchodní podporu, a to i v oblasti certifikací. Dále je prostřednictvím firmy REMAT TRADE s.r.o. členem Svazu papíru a celulózy a Sdružení veřejně prospěšných služeb.

HBH odpady pokládá za důležité zajišťovat vysokou kvalitu nabízených služeb v souladu s principy ochrany životního prostředí a posilovat tak efektivnější nakládání s odpady z hlediska celého životního cyklu i z hlediska nákladů včetně možnosti předcházení vzniku odpadů. Vedení firmy nese plnou odpovědnost za kvalitu poskytovaných služeb a

dopady činností na životní prostředí souvisejícími s těmito službami a proto pevně stojí za těmito závazky:

- Spokojený zákazník je hlavním cílem a výsledkem trvalého úsilí všech zaměstnanců firmy a také základní podmínkou pro udržení a vylepšení pozice firmy v sektoru odpadového hospodářství nejen v kraji Vysočina, ale i na území ČR.
- Služby společnosti významně přispívají k ochraně životního prostředí, protože kvalitním tříděním a dalším zpracováním přijatých odpadů se zvyšuje možnost jeho materiálového využití.
- Společnost usiluje o neustálé zlepšování svého systému managementu a zvyšování environmentální výkonnosti, zejména stanovováním a plněním cílů v oblasti kvality a životního prostředí, prováděním interních auditů a pravidelnou kontrolní činností požadovanou zákonnými požadavky a provozními řády.
- Provoz sběrného dvoru, výkupna odpadů a linka na zpracování (třídění a lisování) odpadů, při provozování těchto zařízení a poskytování dalších služeb jsou používány moderní technologie.
- Dochází k plnění zákonných a jiných požadavků, u kterých se pravidelně hodnotí jejich plnění.
- Sledování dopadů nabízených služeb na životní prostředí a jsou prováděny preventivní kroky k předcházení a snižování těchto dopadů.
- Komunikace se zákazníky, širokou veřejností, státní správou a dalšími zainteresovanými stranami související s kvalitou nabízených služeb a ochrany životního prostředí je jednou z hlavních firemních priorit.
- Aktivity v oblasti environmentální osvěty jsou vlastní a dlouhodobou iniciativou firmy. Firma tyto aktivity neustále rozšiřuje, protože si uvědomujeme důležitost osvěty a povědomí ve společnosti, hlavně u dětí – ty pak svým vlivem a příkladem motivují i své rodiče a okolí [HBH odpady, 2016].

Obr. 21 Provozovna HBH odpady s.r.o. [Zdroj: Vlastní foto]



7.2. Popis třídící linky, její výkonnost a materiálové toky

Areál třídící linky se nachází v průmyslové zóně Havlíčkův Brod a je v provozu od roku 1991. Tehdy se ale nejednalo o klasickou třídící linku, nýbrž pouze dopravník zakončený lisem. Tato linka byla nahrazena novou, moderní linkou v roce 2015, a to od společnosti Bluetech s.r.o. Pacov. S touto modernizací došlo ke zlepšení expedovaného materiálu, který je v provozu na dotřídňovací lince separován na jednotlivé druhy komodit.

Areál společnosti je vybaven administrativní budovou, mostovou váhou a provozní halou, ve které je umístěna již zmíněná dotřídňovací linka. Účelem linky je dotřídřit jednotlivé složky komunálního a průmyslového odpadu. Po tomto roztřídění dochází k lisování, po kterém se balíky skladují před samotným exportem k odběratelům.

Provozní hala, jejíž rozměry jsou 44 x 20 metrů, disponuje čtyřmi rolovacími vraty, které slouží k navážení odpadu a k přístupu denního světla. Uvnitř haly se nachází plocha na přijímání odpadu, dotřídňovací linka, hydraulický lis a manipulační technika. Samotná linka je tvořena příjmovým řetězopásovým dopravníkem, na který je odpad nahrnován. Na tento dopravník navazuje další, který směřuje do třídící kabiny pod úhlem 30°. Linka je v místech kabiny vybavena čtrnácti shozovými šachtami do sedmi oddělených boxů, kde každý box je určen pro vybraný odpad. Vyříděný HDPE odpad pomocí pásového dopravníku směřuje do

přistaveného kontejneru a fólie na vstupu do boxu, který není vybaven posuvným dnem. V případě třídících boxů se po jejich naplnění odpad pomocí pohyblivého dna vynese na dopravní pás, který směřuje do hydraulického lisu.

Obr. 22 Dotřídovací linka HBH odpady s.r.o. [Zdroj: Vlastní foto]



V případě, že materiál není vhodný pro další materiálové využití z důvodu jeho znehodnocení, například zvýšenou nečistotou, nebo kombinací s více materiály a nejde ani energeticky zhodnotit, je firma nucena odvážet tento odpad na skládky odpadu do blízkého okolí, např.: Ronov nad Sázavou a Světlá nad Sázavou.

Pro manipulaci odpadu zaměstnanci využívají vysokozdvizného vozíku a kolového nakladače. Do této manipulace spadá nahrnování odpadu na pásový dopravník, přemísťování slisovaných balíků, nebo přemísťování velkoobjemových pytlů z okolních firem.

Firma již dvanáctým rokem vlastní hydraulický balicí lis Presona LP 50 VH2, který slouží k lisování a svazování balíků, které jsou poté přemístěny k dočasnému uskladnění. Výkonnost linky je ovlivněna výkonností lisu, která je při neustálém růstu množství odpadu na svém maximu, a v budoucnu bude jeho výměna nutná. Maximální výkonost lisu je 10 000 tun ročně.

Obr. 23 Hydraulický lis Presona LP 50 VH2 [Zdroj: Vlastní foto]



Linka slouží výhradně pro třídění papírového a plastového odpadu. U obou komodit se postupuje obdobným postupem. Před samotným tříděním dochází k příjezdu svozové techniky, která vysype odpad na přijímací plochu haly, z které se postupně přemísťuje na dopravní pás. Ten vynáší odpad do třídící komory, kde se u plastů odpad třídí na fólie, PET lahve podle barvy, nápojové kartony a tvrdý plast. V případě papírů lepenka a smíšený papír. Linka je osazena šesti boxy, do kterých se vhazuje určený druh plastu, či papíru. Navíc je linka vybavena dalšími dvěma shozy, z nichž je vybraný druh odpadu vynášen pomocí dopravníkového pásu do připraveného velkokapacitního pytle. V závislosti na vytíženosti linky je u každého shozu v třídící kabině jeden, či dva pracovníci, kteří vybírají z odpadu na pásu přiřazenou komoditu. Plastový a papírový odpad, který nelze nadále materiálově využívat je vynášen dopravníkem do přistaveného kontejneru, který je po naplnění slisován a následně odvážen do spalovny. Množství tohoto odpadu je kolem 600 tun ročně a převážná část je tvořena plasty – více než 99%.

Obr. 24 Ruční separace plastu [Zdroj: Vlastní foto]



Jakmile odpad v boxu dosáhne požadovaného množství, je díky pohyblivému dnu vytlačen na dopravní pás, kterým je vytríděný druh materiálu přepraven k lisu, kde dojde k jeho slisování a svázání. Balíky u plastového odpadu nabývají rozměru 1,5 x 1,1 x 0,7 metru o hmotnosti 250 kg. U papíru se jedná o 600 kg balíky o rozměrech stejných jako u plastového odpadu.

V posledních letech je patrný nárůst množství svezeneho odpadu. V roce 2016 bylo svezeno 950 tun plastového a 5 000 tuny papírového odpadu. V roce 2018 se toto číslo navýšilo více než polovinu a to na 1 600 tun plastového a 8 400 tun papírového odpadu. Největší zastoupení mají plastové fólie, plastové obaly, barevné fólie a čirá PET. U papíru se jedná o lepenku, smíšený papír a odřezky z havlíčkobrodských tiskáren.

Hlavními odběrateli jsou společnosti Alba Wertstoffmanagement GmbH, BULAN s.r.o.,.ecorec Česko s.r.o., EcoWasteEnergy, s.r.o., NAREPA s.r.o., RVG Rohstoff Vermarktungs, GmbH & CO.KG, CEREPa, a.s., REMAT TRADE s.r.o., Waste Paper Trade C.V., DS Smith Recycling Deutschland GmbH a další.

8. Metodika měření

Metodika měření

Měřené vzorky byly vyříděny podle jednotlivých druhů plastů, zváženy a následně přepočítávány na celkové množství zbytkové odpadu v rámci podniku. Pro změření těchto vzorků bylo zapotřebí jejich vyčistění za pomoci ultrazvukové čističky po dobu 5 až 10 minut a následným dočištěním proudem vody. K vysušení bylo využito předsušení proudem vzduchu s následným dosušením v komorové sušárně Memment UN 30 při teplotě 60 °C po dobu dvou hodin. Vzorky byly následně zmenšeny na velikost 1 cm. Toto měření bylo provedeno pro materiály, které měly ve výmětu největší zastoupení. Takto připravené vzorky byly následně použity pro spálení, rozbor spalin a tuhých zbytků v následujících zařízeních.

Analyzátor LECO TGA (Termogravimetrický analyzátor) - 701

Analyzátor LECO slouží k určení váhového úbytku, které nastává během tepelného zatížení při různých teplotách v peci. Dochází k němu k určení množství popela, prchavých hořavin, vlhkosti a ztráty při žihání. Zařízení je složeno z řídicí části a pecní části, která je osazena otáčejícím se karuselem, na kterém je umístěno 20 kelímků, do kterých se umísťují vzorky. Pec je vybavena přesnou váhou, která je schopna průběžně vážit jednotlivé kelímky. V zařízení je možné spalovat vzorky až při teplotách 1 000 °C [LECO, 2012].

Poloautomatický isoperibolický kalorimetr LECO AC-600

U kalorimetru LECO AC-600 dochází k určování spalného tepla spalovaného vzorku za pomoci přenosu tepla v kalorimetrické bombě. V této nádobě dochází k dokonalému spálení materiálu, přičemž vzniklé teplo se přenáší do vodní náplně, která obklopuje kalorimetrickou bombu. Zařízení změří teplotní skok, z kterého software vypočte spalné teplo. Výhřevnost je posléze doložena dle ISO 1928 dle obsahu vody a prvkového složení [LECO, 2012].

Elementární analyzátor CHN628 + S

Elementární analyzátor slouží k měření obsahu vodíku, uhlíku, dusíku a síry. V zařízení dochází k spálení vzorku s následným dohořením spalin. Vzniklá směs plynů prochází detektory, které jsou určeny pro každý měřený prvek (pro uhlík, vodík a síru infračervená absorpce a tepelná vodivost pro dusík). Teplota v zařízení při spalování s kyslíkem dosahuje maximálně 950 °C při analýze CHN a 1350°C při stanovení S [LECO, 2012].

Pro výpočet z naměřených hodnot byly využity vzorce z normy ČSN ISO 1928

- Výpočet spalného tepla v bezvodém stavu Q_{sd} (MJ.kg^{-1})

$$Q_{sd} = \frac{Q_{sm} \cdot 100}{100 - M_T} \quad (\text{MJ.kg}^{-1}), \quad (1.2)$$

kde: Q_{sm} spalné teplo v analytickém stavu (MJ.kg^{-1})

M_T obsah veškeré vody v palivu (% hm.)

- Přepočet vodíku v analytickém vzorku na vodík v suchém stavu $W_{H,d}$ (% hm.)

$$W_{H,d} = \frac{W_{H,m} - M_T}{8,937} - \frac{100}{100 - M_T} \quad (\% \text{ hm.}) \quad (1.3)$$

Kde: $W_{H,m}$ obsah vodíku v palivu v analytickém vzorku (% hm.)

M_T obsah veškeré vody v palivu (% hm.)

- Přepočet obsahu popela v suchém stavu na množství popela v analytickém vzorku

$W_{A,m}$ (% hm.)

$$W_{A,m} = \frac{W_{A,d} \cdot (100 - M_T)}{100} \quad (\% \text{ hm}) \quad (1.4)$$

Kde: $W_{A,d}$ obsah popela v palivu bezvodém stavu (% hm.)

M_T obsah veškeré vody v palivu (% hm.)

- Přepočet obsahu látek v analytickém stavu na suchý stav $W_{X,d}$ (% hm.)

$$W_{X,d} = \frac{100 W_{X,m}}{100 - M_T} \quad (\% \text{ hm}) \quad (1.5)$$

Kde: $W_{X,m}$ obsah látky v palivu v analytickém vzorku (% hm.)

M_T obsah veškeré vody v palivu (% hm.)

- Výpočet obsahu kyslíku v bezvodém stavu $W_{O,d}$ (% hm.)

$$W_{O,d} = 100 - (W_{A,d} + W_{C,d} + W_{H,d} + W_{N,d} + W_{S,d}) \quad (\% \text{ hm}) \quad (1.6)$$

Kde: $W_{A,d}$ obsah popela v palivu bezvodém stavu (% hm.)

$W_{C,d}$ obsah uhlíku v palivu v bezvodém stavu (% hm.)

$W_{H,d}$ obsah vodíku v palivu v bezvodém stavu (% hm.)

$W_{N,d}$ obsah dusíku v palivu v bezvodém stavu (% hm.)

$W_{S,d}$ obsah síry v palivu v bezvodém stavu (% hm.)

- Výpočet výhřevnosti bez obsahu vody Q_{Id} (MJ.kg^{-1})

$$Q_{Id} = \frac{Q_{sd} - 212 W_{H,d} - 0,8 (W_{N,d} - W_{O,d})}{1000} \quad (\text{MJ.kg}^{-1}) \quad (1.7)$$

Kde: Q_{sd} spalné teplo v bezvodém stavu (kJ.kg^{-1})

$W_{H,d}$ obsah vodíku v palivu v bezvodém stavu (% hm.)

$W_{O,d}$ obsah kyslíku v palivu v bezvodém stavu (% hm.)

$W_{N,d}$ obsah dusíku v palivu v bezvodém stavu (% hm.)

- Výpočet výhřevnosti s obsahem vody Q_{Im} (MJ.kg^{-1})

$$Q_{Im} = \frac{(Q_{sd} - 212W_{H,d} - 0,8(W_{O,d} + W_{N,d})) * (1 - 0,01M_T) - 24,43M_T}{1000} \quad (\text{QId (MJ.kg}_{-1}\text{)}) \quad (1.8)$$

- Kde: Q_{sd} spalné teplo v bezvodém stavu (kJ.kg^{-1})
 $W_{H,d}$ obsah vodíku v palivu v bezvodém stavu (% hm.)
 $W_{O,d}$ obsah kyslíku v palivu v bezvodém stavu (% hm.)
 $W_{N,d}$ obsah dusíku v palivu v bezvodém stavu (% hm.)
 M_T obsah veškeré vody v palivu (% hm.) [ČSN ISO 1928, 2010]

Stechiometrie spalování

Základem každého výpočtu tepelné práce spalovacích zařízení je prvkový rozbor spalovaného paliva. Prvkové složení paliva má vliv na veškeré stechiometrické výpočty, výpočty tepelných účinností a ztrát spalovacích zařízení a významně ovlivňuje tepelnou práci spalovacích zařízení. Pro zjištění prvkového složení se používá tzv. prvková analýza, kterou se zjišťuje procentuální hmotnostní podíl uhlíku, vodíku, kyslíku, síry, dusíku a veškeré vody v původním palivu. Nehořlavé látky paliv, tj. obsah popela a obsah veškeré vody, se určí spálením, resp. sušením příslušného vzorku. Prvkové rozborů jednotlivých paliv jsou stanoveny za normálních podmínek podmínky (teplota $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlak $p = 101,325 \text{ kPa}$).

Stechiometrické výpočty spalovacích procesů doplňují charakteristiky paliva a jsou základem pro jakýkoliv tepelný výpočet. Jsou důležité zejména pro řešení celé řady problémů návrhové praxe, stejně jako pro kontrolu práce stávajících spalovacích zařízení. Při těchto výpočtech se stanoví:

- výhřevnost paliva;
- množství kyslíku (vzduchu) potřebného k dokonalému spalování paliva;
- množství a složení spalin;
- měrná hmotnost spalin;
- adiabatická, teoretická a praktická spalná teplota.

Výpočty spotřeby vzduchu a množství spalin

Podle podmínek, které se vytvoří pro spalovací proces, rozeznáváme dokonalé, nedokonalé a smíšené spalování. Jednotlivé druhy spalování jsou popsány v kapitole 6.5.1.

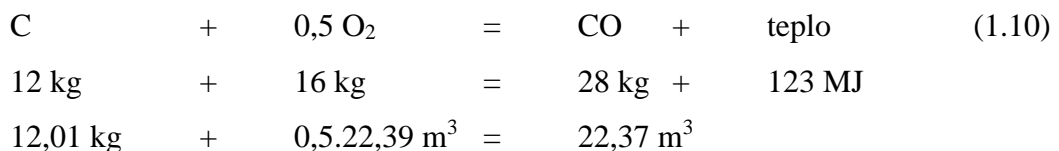
U dokonalého spalování je poměr mezi skutečnou a teoretickou spotřebou vzduchu nazýván součinitel přebytku vzduchu (n) a vypočte se:

$$n = \frac{L_{skut}}{L_{min}} = \frac{O_{skut}}{O_{min}} = \frac{20,95}{20,95 - O_2} = \frac{CO_{2max}}{CO_2} \quad (-), \quad (1.9)$$

Přebytek vzduchu je nutný, aby bylo zaručeno dokonalé spalování. Na druhé straně je však nutno mít na zřeteli škodlivost příliš velikého přebytku. Čím více vzduchu se spalování zúčastní, tím více tepla je odnášeno spalinami, klesá spalná teplota, součinitel využití paliva apod. Proto je nutno používat optimální přebytek vzduchu.

Nedokonalé spalování vzniká vždy při $n < 1$. Může však nastat i v případě, že $n = 0$ nebo $n > 1$, když dojde k nedokonalému smísení paliva s oxidačním činidlem. Tento způsob spalování, zhoršující tepelnou účinnost spalování, je ve většině případů nežádoucí a používá se z technologických důvodů pro spalování výjimečně.

Základní stechiometrický vztah pro nedokonalé spalování uhlíku je:



Při spalování uhlíku na CO se spotřebuje pouze poloviční objem kyslíku než při dokonalém spalování na CO₂. Výhřevnost CO je 12 645 kJ.m⁻³. V důsledku značně vyšší rychlosti reakce hoření vodíku proti průběhu hoření uhlíku je prakticky i při $n < 1$ ztráta nespáleným vodíkem nulová.

Obsah kyslíku ve spalinách je měřítkem přebytku vzduchu jen v případě, že spalování je dokonalé.

Pro spalování vybraných vzorků přichází v úvahu pouze první z uvedených způsobů.

Jako okysličovadlo se dále uvažuje suchý vzduch o zjednodušeném složení:

- a) Objemově: 21 % O₂, 78,05 % N₂. Z tohoto složení lze vypočítat poměr kyslíku, dusíku a vzduchu ze vztahu:

$$O_2 : N_2 : vzduch = \frac{21}{21} : \frac{78,05}{21} : \frac{100}{21} = 1 : 3,716 : 4,76 \quad (1.11)$$

- b) Hmotnostně: 23,2 % O₂, 75,47 % N₂. Obdobně určíme poměr vztahem:

$$O_2 : N_2 : vzduch = \frac{23,2}{23,2} : \frac{75,47}{23,2} : \frac{100}{23,2} = 1 : 3,253 : 4,31 \quad (1.12)$$

Objemové a hmotnostní složení suchého vzduchu bez vodní páry, při zanedbání vzácných plynů, obsažených v nepatrných množstvích, je uvedeno v tabulce 4.

Tab. 4 Objemové a hmotnostní složení suchého vzduchu [MALAŤÁK, 2010]

| Plyn | Objemové složení (%) | Hmotnostní složení (%) |
|-----------------|----------------------|------------------------|
| O ₂ | 21,000 | 23,200 |
| N ₂ | 78,050 | 75,474 |
| Ar | 0,920 | 1,280 |
| CO ₂ | 0,030 | 0,046 |

Ke spalování použitý atmosférický vzduch však obsahuje určité množství vodní páry, které je závislé na teplotě vzduchu t_v a na relativní vlhkosti vzduchu φ . Objem vodní páry připadající na 1 m³ suchého vzduchu o teplotě t_v :

$$v_{H_2O} = \varphi \cdot \frac{P_s}{p_c - p_s \cdot \varphi} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}), \quad (1.13)$$

kde: p_s je tlak vodní páry při teplotě t_v (kPa);

p_c .. celkový tlak vlhkého vzduchu (kPa).

Součinitel, který vyjadřuje objemové množství vodní páry obsažené ve vzduchu, má při dané relativní vlhkosti a teplotě vzduchu velikost:

$$v = 1 + \varphi \cdot \frac{P_s}{p_c - \varphi \cdot p_s} \quad (-). \quad (1.14)$$

Jeho hodnota bývá přibližně $v = 1,04$.

Při přesných výpočtech objemových množství produktů spalování (kouřových plynů) a potřebného objemu spalovacího vzduchu se při spalování vychází z molekulové hmotnosti jednotlivých prvků hořlaviny. Molekulové hmotnosti prvků jsou uvedeny v tabulce 5.

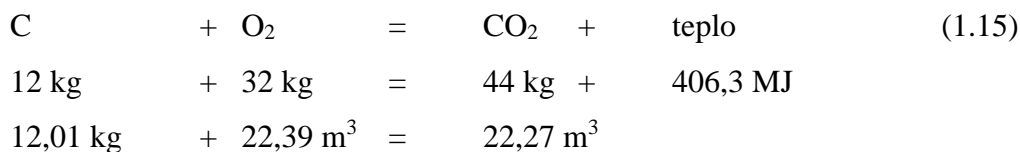
Tab. 5 Molekulové hmotnosti prvků v hořlavině [MALAŤÁK, 2010]

| Prvek | Kilomol | |
|------------|-----------------|----------------------------|
| | Hmotnostní (kg) | Objemový (m ³) |
| Vodík (H) | 2,016 | 22,39 |
| Uhlík (C) | 12,01 | 22,39 |
| Kyslík (O) | 32,00 | 22,39 |
| Síra (S) | 32,06 | 22,39 |
| Dusík (N) | 28,02 | 22,39 |

Spalování tuhých paliv

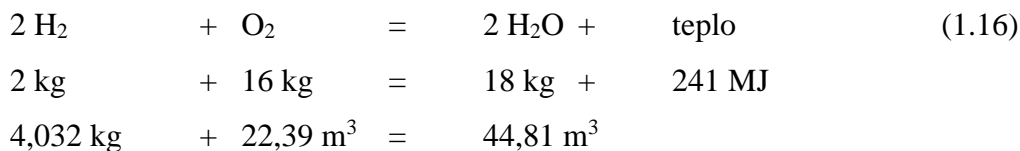
Použitím molekulových hmotností jednotlivých prvků lze vyjádřit vztahy pro oxidační reakce při spalování stechiometrickými rovnicemi:

Spalování uhlíku na oxid uhličitý:



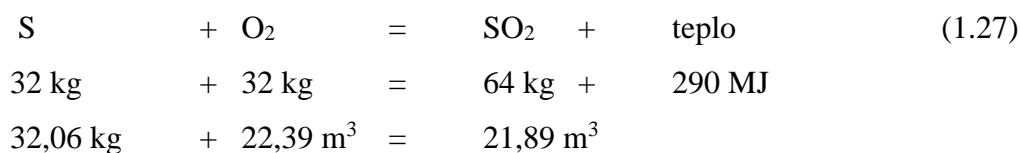
Výhřevnost 1 kg čistého uhlíku je $33,85 \text{ MJ.kg}^{-1}$.

Spalování vodíku na vodní páru:



Výhřevnost 1 kg vodíku je $120,5 \text{ MJ.kg}^{-1}$.

Spalování síry na oxid siřičitý:



Výhřevnost 1 kg síry je $9,0625 \text{ MJ.kg}^{-1}$.

Pro převod ostatních prvků a vlhkosti (vody) do plynné fáze platí:

Pro dusík:



Pro kyslík:



Pro vlhkost platí:



Všechny objemy a hmotnosti spalovacího vzduchu a spalin v rovnicích jsou udávány za tzv. normálních podmínek, tj. při teplotě $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku $p = 101,325 \text{ kPa}$.

Objemové spalování (hodnoty reálných molárních objemů plynů)

V praxi se pro přepočty používají hodnoty reálných molárních objemů plynů.

Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování:

$$O_{\min} = \frac{22,39}{12,01} \cdot C + \frac{22,39}{4,032} \cdot H + \frac{22,39}{32,06} \cdot S - \frac{22,39}{31,99} \cdot O \quad (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}), \quad (1.21)$$

Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování:

$$L_{\min} = O_{\min} \cdot \frac{100}{21} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}), \quad (1.22)$$

Skutečné množství vzduchu pro dokonalé spalování:

$$L_{skut} = O_{\min} \cdot \frac{100}{21} \cdot n \quad (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}), \quad (1.23)$$

Teoretické objemové množství suchých spalin:

$$v_{sp}^s = \frac{22,27}{12,01} \cdot C + \frac{21,89}{32,06} \cdot S + \frac{22,40}{28,013} \cdot N + 0,7805 \cdot L_{\min} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}), \quad (1.24)$$

kde: C, H, O, S, N, W jsou poměrná množství uhlíku, vodíku, kyslíku, síry, dusíku a veškeré vody v původním palivu ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$);

n .. součinitel přebytku vzduchu (-).

Objemové množství vlhkých spalin:

$$v_{sp}^v = v_{CO_2} + v_{SO_2} + v_{H_2O} + v_{N_2} + v_{O_2} + v_{Ar} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}).$$

(1.25)

Objemové množství suchých spalin:

$$v_{sp}^s = v_{CO_2} + v_{SO_2} + v_{N_2} + v_{O_2} + v_{Ar} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}), \quad (1.26)$$

$$\text{kde: } v_{CO_2} = \frac{22,27}{12,01} \cdot C + 0,0003 \cdot L_{skut} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}), \quad (1.37)$$

$$v_{SO_2} = \frac{21,89}{32,06} \cdot S \quad (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}), \quad (1.28)$$

$$v_{H_2O} = \frac{44,81}{4,032} \cdot H + \frac{22,41}{18,015} \cdot W + (v - 1) \cdot L_{skut} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}), \quad (1.29)$$

$$v_{N_2} = \frac{22,40}{28,013} \cdot N + O_{\min} \cdot \frac{78,05}{21} \cdot n \quad (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}), \quad (1.30)$$

$$v_{O_2} = O_{\min} \cdot (n - 1) \quad (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}), \quad (1.31)$$

$$v_{Ar} = 0,0092 \cdot L_{skut} \quad (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}). \quad (1.32)$$

Vyjádření jednotlivých složek spalin v %:

Teoretická objemová koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalinách:

$$CO_{2\max} = \frac{22,27}{12,01} \cdot C \cdot 100 \quad (\%). \quad (1.33)$$

Teoretická objemová koncentrace oxidu siřičitého v suchých spalínách:

$$SO_{2\max} = \frac{21,89}{32,06} \cdot S \cdot 100 \quad (\%). \quad (1.34)$$

Objemová koncentrace složek spalín ve vlhkých spalínách:

$$CO_2 = \frac{v_{CO_2}}{v_{sp}^v} \cdot 100 \quad (\%), \quad (1.35)$$

$$H_2O = \frac{v_{H_2O}}{v_{sp}^v} \cdot 100 \quad (\%), \quad (1.36)$$

$$SO_2 = \frac{v_{SO_2}}{v_{sp}^v} \cdot 100 \quad (\%), \quad (1.37)$$

$$N_2 = \frac{v_{N_2}}{v_{sp}^v} \cdot 100 \quad (\%), \quad (1.38)$$

$$O_2 = \frac{v_{O_2}}{v_{sp}^v} \cdot 100 \quad (\%), \quad (1.39)$$

[MALAŤÁK, 2010].

9. Návrh řešení a dosažené výsledky

9.1. Termické zpracování zbytkového plastového odpadu

Cílem diplomové práce bylo analyzovat odpad, který není vytríděn a směřuje do spalovny. Tohoto odpadu bylo v roce 2018 předáno 605 tun, z nichž 600 tun tvořil plastový odpad a papír se tak stal zanedbatelnou částí.

V týdenním časovém rozptylu byly z linky odebrány vzorky tohoto materiálu třikrát po sobě z různých míst skladovacích prostor. V tabulce 6 je množství odebraného odpadu, který je procentuálně přepočítán na celkové množství. Mezi vzorky se nacházelo značné množství materiálu, který nešlo přesněji zařadit, proto byl procentuálně rozpočítán na základě celkového množství, jak je uvedeno v tabulce 7. Dále takto dopočítány vzorek byly PET lahve, které byly potaženy PVC viz tabulka 8. Tabulka č. 9 obsahuje již rozpočítané odpady z tabulek 6 až 8 a definuje přesné složení odebraných vzorků. Charakteristika jednotlivých druhů materiálů je obsažena v literární rešerši v kapitole 4.

Tab. 6 Vzorky materiálu z třídící linky

| Materiál | Množství vzorku [kg] | Procentuální zastoupení [%] | Celkové množství [kg] |
|---------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| PET | 0,2475 | 16,0392 | 96 235 |
| PP/HDPE | 0,0144 | 0,9332 | 5 599 |
| PS | 0,0638 | 4,1346 | 24 807 |
| PET/PVC | 0,0651 | 4,2188 | 25 313 |
| PP/PE | 0,0419 | 2,7153 | 16 292 |
| PAP | 0,0135 | 0,8742 | 5 245 |
| PP | 0,2504 | 16,2272 | 97 363 |
| LDPE | 0,0819 | 5,3075 | 31 845 |
| PET/PE | 0,003 | 0,1944 | 1 166 |
| C/PAP | 0,116 | 7,5174 | 45 104 |
| Směs plastů | 0,6456 | 41,8381 | 251 029 |
| Celkem | 1,5431 | 100 | 600 000 |

Tab. 7 Směs plastů

| Směs plastů | Množství vzorku [kg] | Procentuální zastoupení [%] | Celkové množství [kg] |
|---------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| PP/HDPE | 0,0204 | 3,16 | 7938 |
| PS | 0,0904 | 14,01 | 35168 |
| PP/PE | 0,0594 | 9,20 | 23096 |
| PP | 0,3550 | 54,98 | 138027 |
| LDPE | 0,1161 | 17,98 | 45145 |
| PET/PE | 0,0043 | 0,66 | 1654 |
| Celkem | 0,6456 | 100 | 251028,7799 |

Tab. 8 PVC

| Směs plastů | Množství vzorku [kg] | Procentuální zastoupení [%] | Celkové množství [kg] |
|---------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------|
| PET | 0,0581 | 89,28 | 22599 |
| PVC | 0,0070 | 10,72 | 2714 |
| Celkem | 0,0651 | 100 | 25312,8463 |

Tab. 9 Celkové množství jednotlivých složek po roztrídění

| Materiál | Celkové množství [kg] | Procentuální zastoupení [%] |
|---------------|-----------------------|-----------------------------|
| PET | 118834 | 19,81 |
| PP/HDPE | 13537 | 2,26 |
| PS | 59976 | 10,00 |
| PVC | 2714 | 0,45 |
| PP/PE | 39388 | 6,56 |
| PAP | 5245 | 0,87 |
| PP | 235390 | 39,23 |
| LDPE | 76991 | 12,83 |
| PET/PE | 2820 | 0,47 |
| C/PAP | 45104 | 7,52 |
| Celkem | 600000 | 100 |

Pro změření vzorků bylo zapotřebí je zcela vysušit, k čemuž bylo využito předsušení proudem vzduchu s následným dosušením v komorové sušárně Memment UN 30 při teplotě 60 °C po dobu dvou hodin. Čistění vzorků proběhlo za pomoci ultrazvukové čističky a pomocí proudu vody. Vzorky byly následně zmenšeny na velikost 1 cm. Toto měření se provedlo pro materiály, které měly ve výmětu největší zastoupení, případně by mohly negativně ovlivnit spalování, jako například chlor, který je obsažen v PVC. V tabulce 10 jsou uvedeny hmotnostní rozdíly mezi čistými a znečištěnými surovinami.

Tab. 10 Hmotnostní rozdíly čistých a znečištěných surovin

| Vzorek | Hmotnost - špinavý [g] | Hmotnost - čistý [g] | Rozdíl [g] |
|--------|------------------------|----------------------|------------|
| PET | 5,17 | 5,05 | 0,12 |
| PS | 4,60 | 4,51 | 0,09 |
| PVC | 4,09 | 4,05 | 0,04 |
| PP | 6,94 | 6,80 | 0,14 |
| LDPE | 5,96 | 5,49 | 0,47 |
| C/PAP | 8,50 | 7,93 | 0,57 |

V rámci diplomové práce byly u materiálů, které mají ve zbytkovém odpadu největší zastoupení, stanoveno jejich prvkové složení, výhřevnost, spalné teplo, vlhkost a další. K tomu bylo nutné vypočítat jejich prvkové složení a zjistit jejich výhřevnost. Výhřevnost jednotlivých materiálů je udávána jako tabulková, s výjimkou nápojových kartonů, u kterých závisí na složení a též u PVC se hodnota výhřevnosti liší. Prvkové složení a procentuální zastoupení jednotlivých prvků bylo vypočteno pomocí molární hmotnosti.

Tab. 11 Výhřevnost a chemický vzorec měřených vzorků

| Vzorek | Výhřevnost [MJ.kg ⁻¹] | Chemický vzorec |
|--------|-----------------------------------|---|
| PET | 21,81 | C ₁₀ H ₈ O ₄ |
| PS | 38,97 | C ₈ H ₈ |
| PVC | 20,9 | C ₂ H ₃ Cl |
| PP | 44,2 | C ₃ H ₆ |
| LDPE | 41,8 | C ₂ H ₄ |
| C/PAP | 33,97 | - |

Polyetylentereftalát (PET)

$$(C_{10}H_8O_4) = 10 \cdot M(C) + 8 \cdot M(H) + 4 \cdot M(O) \quad (1.40)$$

$$M(C_{10}H_8O_4) = 10 \cdot 12 + 8 \cdot 1 + 4 \cdot 16 = 192 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad (1.41)$$

$$\frac{M(C)}{M} \cdot 100 = \frac{12}{192} \cdot 100 = 6,25 \cdot 10 = 62,5 \% C \quad (1.42)$$

$$\frac{M(H)}{M} \cdot 100 = \frac{1}{192} \cdot 100 = 0,521 \cdot 8 = 5,21 \% H \quad (1.43)$$

$$\frac{M(O)}{M} \cdot 100 = \frac{16}{192} \cdot 100 = 8,33 \cdot 4 = 33,33 \% O \quad (1.44)$$

Polystyren (PS)

$$M(C_8H_8) = 8 \cdot M(C) + 8 \cdot M(H) = 104 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad (1.45)$$

$$\frac{M(C)}{M} \cdot 100 = \frac{12}{192} \cdot 100 = 11,58 \cdot 8 = 92,3 \% C \quad (1.46)$$

$$\frac{M(H)}{M} \cdot 100 = \frac{1}{192} \cdot 100 = 0,961 \cdot 8 = 7,7 \% H \quad (1.47)$$

Polyvinylchlorid (PVC)

$$(C_2H_3Cl) = 2 \cdot M(C) + 3 \cdot M(H) + M(Cl) = 62,45 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad (1.48)$$

$$\frac{M(C)}{M} \cdot 100 = \frac{12}{62,45} \cdot 100 = 19,215 \cdot 2 = 38,43 \% C \quad (1.49)$$

$$\frac{M(H)}{M} \cdot 100 = \frac{1}{62,45} \cdot 100 = 1,601 \cdot 3 = 4,803 \% H \quad (1.50)$$

$$\frac{M(Cl)}{M} \cdot 100 = \frac{33,45}{62,45} \cdot 100 = 56,765 \% Cl \quad (1.51)$$

Polystyren (PS)

$$M(C_3H_6) = 3 \cdot M(C) + 6 \cdot M(H) = 42 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad (1.52)$$

$$\frac{M(C)}{M} \cdot 100 = \frac{12}{42} \cdot 100 = 28,57 \cdot 3 = 85,71 \% C \quad (1.53)$$

$$\frac{M(H)}{M} \cdot 100 = \frac{1}{42} \cdot 100 = 2,38 \cdot 6 = 14,29 \% H \quad (1.54)$$

Nízkohustotní polyetylen (LDPE)

$$M(C_2H_4) = 2 \cdot M(C) + 4 \cdot M(H) = 28 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad (1.55)$$

$$\frac{M(C)}{M} \cdot 100 = \frac{12}{28} \cdot 100 = 42,857 \cdot 2 = 85,714 \% C \quad (1.56)$$

$$\frac{M(H)}{M} \cdot 100 = \frac{1}{28} \cdot 100 = 3,571 \cdot 4 = 14,284 \% H \quad (1.59)$$

Nápojové kartony

Složení nápojových kartonů je různé, nejběžnější je však 75 % PAP, 20 % PE a 5 % Al. Prvkové složení je následující:

- C = 55,67 %
- H = 15,76 %
- N = 0,19 %
- S = 0,1 %
- O = 9,42 %

Po stanovení chemického složení jednotlivých vzorků proběhlo jejich spálení v zařízeních, které jsou, včetně postupu, obsaženy v kapitole Metodika měření. Hodnoty, které jsou uvedeny v tabulce 12 a tabulce 13 jsou dopočítány pomocí rovnic uvedených v kapitole Metodika měření. Též je pro porovnání tabulka doplněna o směsný komunální odpad, který je však velice různorodý, proto jsou v tabulce obsaženy rozptyly jeho složení. Analýzy proběhly u všech vzorků vyjma PVC ve třech opakováních. V případě PVC není možné přesného stanovení spalného tepla a výhřevnosti, kvůli vysokému obsahu chloru, který by mohl poškodit měřící zařízení. V kalorimetrické bombě PS hořel zjevně velkým plamenem za vzniku sazí a při malých navážkách malého množství přídavné látky a tudíž nebylo možné změřit spalné teplo přesně. U LDPE došlo před samotnou analýzou ke zmenšení vzorku na velikost 1 mm s následným napeletováním. U nápojového kartonu lze předpokládat, že veškerý hliník je spálen. Tento předpoklad se zdá být potvrzený, jelikož se ve výplachu kalorimetrické bomby nachází bílý jemný prášek – Al₂O₃. Při měření PET bylo množství popele pod mezí stanovitelnosti přístroje, proto je v tabulce uvedena nulová

hodnota. Celková chyba měření byla vypočítána z hodnot analytického vzorku pro přenos chyby.

Tab. 12 Průměrné hodnoty analytické vzorky

| Vzorek | Vlhkost | Popel | Uhlík | Vodík (vč. vody) | Dusík | Síra | Spalné teplo | Výhřevnost |
|--------|---------|-------|-------|------------------|---------|---------|---------------------|---------------------|
| | % hm | % hm | % hm | % hm | % hm | % hm | MJ.kg ⁻¹ | MJ.kg ⁻¹ |
| PET | 0,36 | 0,00 | 62,28 | 5,23 | 0,00 | 0,00 | 22,89 | 21,79 |
| PP | 0,34 | 2,11 | 83,61 | 13,98 | 0,00 | 0,00 | 45,24 | 42,28 |
| LDPE | 0,56 | 3,39 | 82,32 | 13,79 | 0,00 | 0,00 | 44,28 | 41,36 |
| C/PAP | 9,94 | 10,71 | 44,17 | 13,61 | 0,00 | 0,08 | 33,66 | 30,75 |
| PVC | 0,83 | 2,51 | 37,15 | 4,73 | 0,00 | 54,87 | 22,73 | 21,73 |
| PS | 0,92 | 0,21 | 91,25 | 7,71 | 0,00 | 0,00 | 40,77 | 39,14 |
| SKO | 15-40 | 20-30 | 18-40 | 1-5 | 0,2-1,5 | 0,1-0,5 | 8-11 | 7,5-10,5 |

Tab. 13 Průměrné hodnoty suchý stav

| Vzorek | Popel | Uhlík | Vodík | Dusík | Síra | Kyslík | Spalné teplo | Výhřevnost |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------------------|---------------------|
| | % hm | % hm | % hm | % hm | % hm | % hm | MJ.kg ⁻¹ | MJ.kg ⁻¹ |
| PET | 0,00 | 62,50 | 5,21 | 0,00 | 0,00 | 32,29 | 22,98 | 21,84 |
| PP | 2,12 | 83,90 | 13,99 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 45,48 | 42,43 |
| LDPE | 3,41 | 82,78 | 13,80 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 44,61 | 41,60 |
| C/PAP | 11,89 | 49,05 | 13,89 | 0,00 | 0,09 | 25,08 | 37,44 | 34,41 |
| PVC | 2,53 | 37,46 | 4,68 | 0,00 | 55,33 | 0,00 | 22,95 | 21,93 |
| PS | 0,22 | 92,10 | 7,68 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 41,20 | 39,52 |

9.1.1. Porovnání výsledků

V rámci práce bylo analyzováno pět druhů plastů a jeden vícevrstvý materiál, které mají ve zbytkovém odpadu největší procentuální zastoupení. Jedná se tyto plasty: polyetylentereftalát (PET), polypropylen (PP), nízkohustotní polyetylen (LDPE),

polyvinylchlorid (PVC) a pěnový polystyren (PS) a vícevrstvý obal - nápojový karton (C/PAP).

Analytické vzorky byly porovnávány s hodnotami tabulkovými, které se v různých zdrojích lišily minimálně. U vzorků jsou porovnávány nejdůležitější ukazatele, kterými jsou obsah vlhkosti, popela a výhřevnost. Též byl odpad porovnán s průměrným složením komunálního odpadu, který bez jakékoliv separace směřuje přímo do spaloven.

U všech měřených vzorků je obsah vlhkosti pod hranicí 10 % hm. Od čistě plastových vzorků se liší nápojový karton, který je složen z polyetylenu a papíru, který obal zastupuje v cca 75 %. Oproti plastovému zbytkovému odpadu, se směsný komunální odpad vyznačuje zvýšenou vlhkostí, jelikož obsahuje značné množství biologicky rozložitelného odpadu.

Dalším důležitým ukazatelem je obsah popela v bezvodém stavu. U vzorků LDPE, PP a PS se výrazně neliší, jednalo se o desetiny % hm. V případě vzorku PET nebylo možné stanovit obsah popela z důvodu hodnoty nižší, než je mez stanovitelnosti zařízení. Tabulková hodnota obsahu popela PET je 2,15 % hm. Významně se lišily vzorky PVC a C/PAP. Tabulková hodnota PVC je 7,94 % hm, v případě měření byl obsah 2,51 % hm. U nápojového kartonu byla změřená hodnota o polovinu nižší než u tabulkového údaje, který je 18,96 % hm. SKO opět vykazuje nejvyšší hodnotu, která se pohybuje mezi 20 až 30 hmotnostními procenty.

Posledním a nejspíše nejdůležitějším ukazatelem je výhřevnost, která udává množství vzniklé energie z jednoho kilogramu paliva. Čím vyšší výhřevnost je, tím je palivo schopno vyprodukovat větší množství energie. Všechny vzorky se lišily s tabulkovými údaji minimálním rozdílem. Výhřevnost vzorku LDPE byla o 0,44 MJ.kg⁻¹ nižší než tabulková, u PP byl rozdíl 0,08 MJ.kg⁻¹, PVC změřené mělo o 0,83 MJ.kg⁻¹ vyšší výhřevnost, změřený PS měl hodnotu vyšší 0,17 MJ.kg⁻¹ a nejnižší rozdíl byl zjištěn u PET, kde rozdíl činil pouze 0,02 MJ.kg⁻¹. Největší rozdíl byl v případě nápojového kartonu, jehož tabulková výhřevnost je 33,97 MJ.kg⁻¹. Změřená hodnota je však 30,75 MJ.kg⁻¹. V případě SKO se výhřevnost v závislosti na jeho složení pohybuje kolem 7-10 MJ.kg⁻¹, což je o polovinu nižší výhřevnost než nejnižší výhřevnost z měřených plastových odpadů. Kvůli své nízké výhřevnosti nelze na rozdíl od zbylých materiálů použít jako tuhé alternativní palivo v cementárnách, kde je spodní hranice 17 MJ.kg⁻¹.

U všech změřených vzorků byla zjištěna nulová hodnota dusíku. U nápojových kartonů byl změřen minimální výskyt síry (0,08 % hm). Při analýze PVC byl změřen vysoký

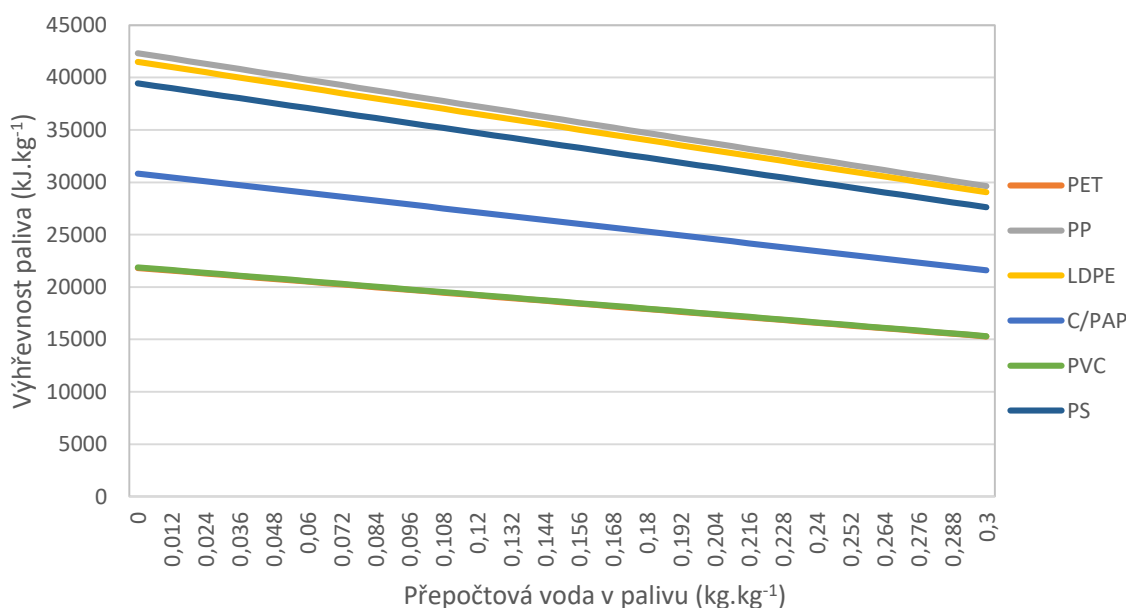
obsah chloru, který se blížil k 55 % hm. Tento obsah chloru je silně nepříznivý pro spalovací zařízení z důvodu koroze a též kvůli vzniku toxických zplodin. Hlavními produkty dokonalého spalování jsou oxid uhličitý a chlorovodík, jehož vedlejšími produkty jsou vysoce toxické polychlorované dibenzofurany a dibenzodioxiny. Před samotným spálením vyseparovaného odpadu je nutné z něj vytrdit PVC odpad, který je z výše uvedených poznatků velmi nepříznivý a nežádoucí při spalovacím procesu.

9.1.2. Stechiometrie spalování

Ze vzorků, které byly spáleny a analyzovány, byly použity hodnoty, které jsou pro další výpočty nezbytné. Podle rovnic, které jsou uvedené v kapitole Metodika měření, byly spočteny hodnoty výhřevnosti dle normy ČSN 44 1352. Při spalování se počítá s 11 % referenční obsahem kyslíku, čili přebytkem vzduchu 2,11.

Z těchto vypočtených hodnot byl pro porovnání vytvořen graf, který vycházel z výhřevností v závislosti na obsahu vody pro jednotlivé vzorky. Z grafu je patrné, že s přibývajícím vlhkostí odpadu klesá výhřevnost paliva. Nejvyšší pokles je u materiálu LDPE, PP a PS, kdy tento rozdíl činí přes 12 MJ.kg⁻¹. Naopak nejnižší pokles výhřevnosti nastává u odpadů PET a PVC, kde tento rozdíl je 6,5 MJ.kg⁻¹. V případě nápojového kartonu je pokles výhřevnosti o 9,5 MJ.kg⁻¹.

Graf 1 Porovnání výhřevností jednotlivých vzorků v závislosti na vodě v palivu



Tuhá alternativní paliva (TAP) jsou klasifikována a specifikována v mezinárodní normě ČSN EN 15359. Specifikace paliva obnáší uvedení fyzikální a chemických vlastností a druh odpadu, ze kterého bylo palivo připraveno. Vstupním materiálem TAP jsou vytríděné složky, které mají značný energetický potenciál, a není možné je materiálově využít. Výhřevnost TAP připravených z nerecyklovatelných složek vytríděných z komunálního odpadu je kolem 22 MJ.kg⁻¹. Zde je patrný rozdíl mezi TAP z vytríděného a nevytríděného odpadu (viz. tabulka 14). Dále je u paliva sledováno množství chloru, které způsobuje na trase spalin tzv. chlorovou korozi. Pokud se v palivu nachází méně než 1 % chloru, na zařízení se nevztahují přísnější a náročnější provozní podmínky. Posledním parametrem, který se zjišťuje, je rtuť.

Pro spalování TAP v cementárnách se uvádí pět kvalitativních parametrů, které jsou uvedeny v tabulce 16 a jsou porovnány se změřenými vzorky, které byly převedeny do směsi plastů. Ze změřených výsledků je zřejmé, že zbytkový odpad, který směřuje k energetickému využití do cementárny, splňuje vstupní kritéria po všech stránkách.

Tab. 14 Porovnání TAP

| | Výhřevnost [MJ.kg ⁻¹] | Vlhkost [% hm] | Obsah popela [% hm] | Obsah síry [% hm] | Obsah chloru [% hm] |
|---------------|-----------------------------------|----------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| TAP | 22 | 15 | 10 | 0,9 | 0,5 |
| Měřený vzorek | 35,53 | 1,16 | 2,35 | 0,01 | 0,25 |

Dále jsou zde uvedeny emisní limity, které stanovují maximální množství tuhých znečišťujících látek na 50 mg.m⁻³, SO₂ na 400 mg.m⁻³, NO_x na 1 800 mg.m⁻³, CO, Cl, F, Hg a další.

Během spalování paliv dochází k přeměně chemicky vázané energie v energii tepelnou, která se vyznačuje vysokým tepelným potenciálem. Výsledkem tohoto spalování dochází ke vzniku odpadního plynu, neboli spalin, které obsahují oxid uhličitý (CO₂), oxid

siřičitý (SO₂), vodní páru (H₂O) a směs inertních složek vzduchu, které ve spalinách zůstanou po vyčerpání kyslíku. Rovnice pro výpočet objemu suchých spalin jsou uvedeny v kapitole Metodika měření, neboť emisní limity jsou stanoveny pro suché spaliny. V této kapitole jsou obsaženy i ostatní vzorce potřebné pro výpočet hodnot v tabulce 15.

Tab. 15 Objemové spalování

| Objemové spalování | | | PET | PP | LDPE | C/PAP | PVC | PS |
|--------------------|--|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| O_{min} | Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování | [m ³ .kg ⁻¹] | 1,22 | 2,33 | 2,30 | 1,36 | 1,33 | 2,12 |
| L_{min} | Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování | [m ³ .kg ⁻¹] | 5,83 | 11,11 | 10,94 | 6,48 | 6,35 | 10,11 |
| L_{skut} | Skutečné množství vzduchu pro dokonalé spalování | [m ³ .kg ⁻¹] | 12,24 | 23,33 | 22,97 | 13,61 | 13,33 | 21,24 |
| v_{sp}^v | Objemové množství vlhkých spalin | [m ³ .kg ⁻¹] | 13,24 | 25,03 | 24,65 | 15,12 | 14,12 | 22,51 |
| v_{sp}^s | Objemové množství suchých spalin | [m ³ .kg ⁻¹] | 12,17 | 22,55 | 22,20 | 13,07 | 13,06 | 20,81 |
| v_{spmin}^s | Teoretické objemové množství suchých spalin | [m ³ .kg ⁻¹] | 5,70 | 10,22 | 10,06 | 5,88 | 6,02 | 9,59 |
| v_{CO2} | Objemové množství CO ₂ | [m ³ .kg ⁻¹] | 1,16 | 1,56 | 1,53 | 0,82 | 0,69 | 1,70 |
| v_{SO2} | Objemové množství SO ₂ | [m ³ .kg ⁻¹] | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,37 | 0,00 |
| v_{H2O} | Objemové množství H ₂ O | [m ³ .kg ⁻¹] | 1,07 | 2,49 | 2,45 | 2,06 | 1,06 | 1,71 |
| v_{N2} | Objemové množství N ₂ | [m ³ .kg ⁻¹] | 9,55 | 18,21 | 17,93 | 10,62 | 10,41 | 16,58 |
| v_{O2} | Objemové množství O ₂ | [m ³ .kg ⁻¹] | 1,35 | 2,57 | 2,53 | 1,50 | 1,47 | 2,34 |
| v_{Ar} | Objemové množství Ar | [m ³ .kg ⁻¹] | 0,11 | 0,21 | 0,21 | 0,13 | 0,12 | 0,20 |

V tabulce 16 jsou uvedeny hmotnostní toky jednotlivých druhů paliv v závislosti na výkonu kotle v kW. Pro výpočet se uvažuje s 80 % účinností kotle. Jak je z tabulky patrné, je u materiálů PP, LDPE a PS nutné přidávat do kotle nejnížší množství paliva za hodinu, díky nízkému obsahu popela, vlhkosti a vysoké hodnotě výhřevnosti. Nejvíce paliva je nutné přidávat při spalování PET, pokud se pomine spalování PVC, který by kvůli vysokému obsahu chloru neměl být samostatně spalován.

Tab. 16 Hmotnostní tok v závislosti na výkonu kotle

| P_n [kW] | m_{pv} [kg.hod ⁻¹] PET | m_{pv} [kg.hod ⁻¹] PP | m_{pv} [kg.hod ⁻¹] LDPE | m_{pv} [kg.hod ⁻¹] C/PAP | m_{pv} [kg.hod ⁻¹] PVC | m_{pv} [kg.hod ⁻¹] PS | m_{pv} [kg.hod ⁻¹] Směs |
|------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 300 | 62,07 | 31,99 | 32,71 | 48,62 | 62,22 | 34,53 | 41,06 |
| 500 | 103,46 | 53,33 | 54,52 | 81,03 | 103,71 | 57,56 | 68,44 |
| 600 | 124,14 | 63,99 | 65,42 | 97,24 | 124,44 | 69,07 | 82,13 |
| 1 200 | 248,29 | 127,99 | 130,84 | 145,86 | 248,88 | 138,15 | 123,19 |
| 1 800 | 372,44 | 191,99 | 196,27 | 194,48 | 373,32 | 207,23 | 164,26 |
| 2 400 | 496,59 | 255,99 | 261,69 | 388,97 | 497,77 | 276,31 | 328,53 |
| 4 200 | 869,03 | 447,99 | 457,97 | 680,71 | 871,09 | 483,54 | 574,93 |
| 6 000 | 1241,48 | 639,98 | 654,24 | 972,45 | 1244,42 | 690,78 | 821,33 |
| 9 000 | 1862,22 | 959,97 | 981,36 | 1458,67 | 1866,63 | 1036,17 | 1231,99 |
| 12 000 | 2482,96 | 1279,97 | 1308,49 | 1642,66 | 2488,85 | 1381,56 | 1642,66 |
| 15 000 | 3103,71 | 1599,96 | 1635,61 | 2431,12 | 3111,06 | 1726,95 | 2053,31 |

Pro znázornění je v tabulce umístěn sloupec s hmotnostním tokem směsi plastového odpadu. Z třídící linky se ročně odveze 600 tun odpadu, který vykazuje vhodné parametry pro spalování, díky své vysoké výhřevnosti a nízkému obsahu vlhkosti a popela. S předpokladem, že spalovací zařízení bude v provozu celý rok, čili 365 dní = 8 760 hodin, je možné s tímto množstvím odpadu udržet v chodu kotel, který potřebuje 68,49 kg paliva za hodinu. Toto množství odpadu připadá k 500 kW kotli, který je v tabulce označen červenou barvou.

9.2. Inovace linky

V popisu třídícího zařízení již zaznělo, že současná výkonnost linky je na své maximální hodnotě. S výměnou lisu by bylo vhodné doplnit linku o automatický třídič papíru, který slouží k oddělení lepenky od běžného papíru. Tato investice by byla vhodná z toho důvodu, že pro firmu je papír klíčovou surovinou a plyne z ní největší zisk.

Množství papírového odpadu, které bylo na lince roztríděno v roce 2018, je necelých 8 000 tun. Vývoj tříděného množství jednotlivých složek papíru je uveden v tabulce č. 17.

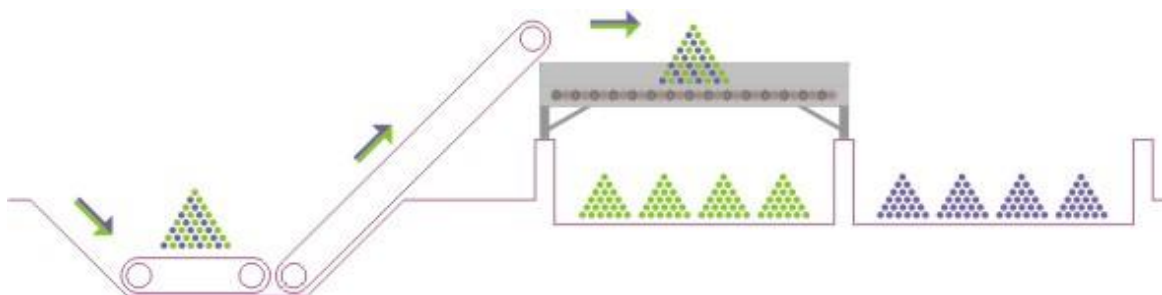
Tab. 17 Množství papírového odpadu

| Rok | Surovina | Množství [kg] | Částka [Kč] |
|----------------|---------------|-------------------|----------------------|
| 2016 | Lepenka | 3 104 888 | 9 415 458,00 |
| | Smíšený papír | 924 398 | 2 495 217,00 |
| 2017 | Lepenka | 4 144 875 | 12 351 727,00 |
| | Smíšený papír | 1 299 675 | 3 379 155,00 |
| 2018 | Lepenka | 5 342 977 | 15 922 071,00 |
| | Smíšený papír | 1 528 334 | 3 973 668,00 |
| Součet: | | 16 345 147 | 47 537 296,00 |

9.2.1. Hvězdicové síto






Princip hvězdicového třídíče, nebo-li StarScreenu, spočívá ve vytrídění materiálu podle rozměrů nebo k oddělení lepenky od papíru. Směs papíru je vedena přes rotující kotouče, které mohou být vyrobeny z různých materiálů – používají se kotouče gumové nebo ocelové. Tyto kotouče se otáčejí ve směru toku materiálu linkou a jsou poháněny soustavou ozubených kol pomocí řetězu. Menší frakce, než je rozteč třídících hvězdic a jejich přenosová schopnost na další hřídel, propadne dolů a větší kusy materiálu "proplují" po vrchu třídíče k výsypu nadsítné frakce. Lepenka tedy směřuje dále po dopravníku a je oddělena od papíru, který je snadno ohebný a propadne skrz síto.

Obr. 25 Princip hvězdicového síta [ROLLSTER]

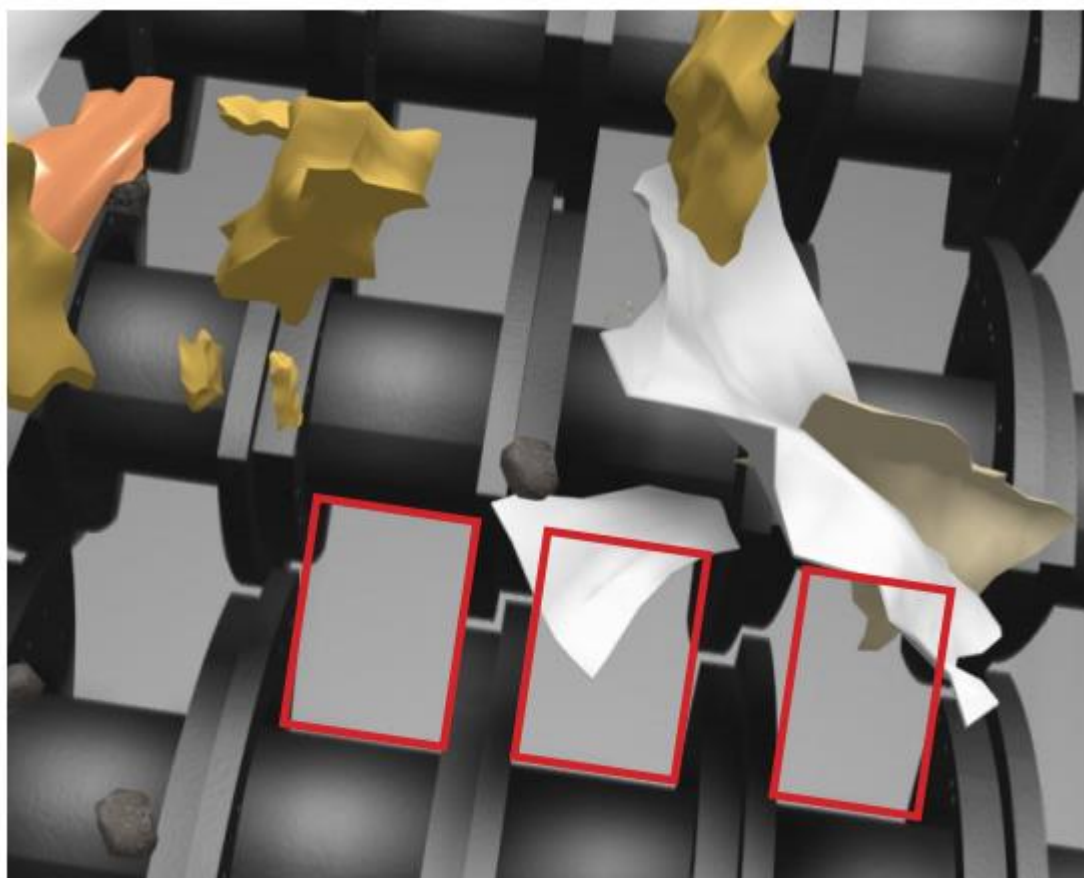


Velikost výsledné frakce lze ovlivnit použitím různých druhů hvězdic, změnou jejich rozměrů, rozestupů hřídelí nebo rychlostí a nakloněním dopravníku. Materiál je možné třídit na více frakcí za pomoci nastavení sklonu síta, pokud to samotný dopravník umožňuje.

Tab. 18 Druhy hvězd u hvězdících třídíčů [BOLLEGRAAF]

| Průměr hvězdice [mm] | Tvar | Velikost separované frakce [mm] |
|----------------------|---|---------------------------------|
| 165 |  | 6 až 30 |
| 235 |  | 30 až 80 |
| 330 |  | 50 až 150 |
| 660 |  | 80 až 500 |
| 510 |  | 100 až 500 |

Obr. 26 Oddělení nadsítné a podsítné frakce [BHS]



9.3. Výběrové řízení

Společností, které se zabývají výrobou recyklačních linek, nebo jejich součástí, je velká řada. Mezi lídry trhu lze zařadit Bollegraaf Recycling Solutions, respektive Lubo Recycling Solutions, dále BulkHandling systems a Komptech. V České republice se o výrobu tohoto zařízení stará DEOS technology, na Slovensku ING. ČASTULÍK.

V rámci firmy HBH odpady bylo uskutečněno výběrové řízení mezi čtyřmi stroji z již zmíněných podniků. Vybrané stroje byly zvoleny jako nejvhodnější varianta z nabízeného sortimentu. Byla u nich porovnávána kritéria jako rozměry zařízení, jejich třídící plocha s výstupní frakcí, elektrický příkon a výkon zařízení.

9.3.1. Multistar 2-SE

Hvězdicové síto Multistar 2-SE je produktem společnosti Komptech a je určeno k třídění vstupního materiálu na frakce podle jejich velikosti. Zvolený typ 2-SE je určen pro třídění na dvě frakce. Podsítná frakce je tvořena odpadem menším než 90 mm. Pro lepší protřídění je možné dopravník instalovat pod určitým sklonem a je možná plynulá změna otáček v závislosti na kvalitě vytrídění. Podsítná frakce může směřovat k ručnímu nebo strojnímu dotřídění zbytků lepenky pomocí dopravníku nebo může být dopravována do přímo do lisu ke slisování a následné expedici [KOMPTECH].

Obr. 27 Hvězdicové síto Komptech Multistar 2-SE [KOMPTECH]



9.3.2. Rollster

Hvězdicový třídič od slovenské společnosti ING. ČASTULÍK je konstruován na zpracování různých druhů materiálů, jako jsou stavební odpady, plasty, sklo, papír atd. Výhodou zařízení je příznivý poměr ceny k výkonu. Dále to jsou menší rozměry, samočistící schopnost a nízké nároky na údržbu. Základní hvězdicový třídič je určen pro třídění dvou frakcí, z nichž podsítná padá do boxu pod třídičem a je z něj pomocí manipulátoru přemísťována na dopravní pás směřující do lisu. Nevýhodou třídiče je nemožnost nastavení sklonu dopravníku [ROLLSTER].

Obr. 25 Hvězdicový třídič Rollster [ROLLSTER]



9.3.3. BHS OCC 66-15

Hvězdicový třídič BHS OCC 66-15 je produktem společnosti Bulk Handling Systems. Společnost ve svém sortimentu nabízí možnost sestavení kompletní linky pro určitou operaci, nebo samotné součásti jednotlivých linek. Jedním z těchto zařízení je hvězdicové síto BHS OCC, které je vyráběno ve třech variantách. Zvolené síto je nejmenší a je určeno ke třídění tří frakcí. V první fázi dochází k oddělení papírů o velikosti menší než 150 mm, v další pak menší než 300 mm. Stejně jako u třídiče Multistar je BHS instalován pod určitým sklonem a vybaven regulátorem rychlosti [BHS].

Obr. 29 Hvězdicový třídič BHS OCC [BHS]



9.3.4. LUBO OCC 7000

Hvězdicové síto LUBO OCC je produktem společnosti Bollegraaf Recycling Machinery a je vyráběno ve třech variantách. Zvolený typ 7000 je střední varianta z nabízených zařízení a je určen pro třídění tří frakcí. V první fázi dochází k oddělení papírů o velikosti menší než 108 mm v další pak menší než 273 mm. Stejně jako u třídiče Multistar a BHS je LUBO OCC 7000 instalován pod určitým sklonem a vybaven regulátorem rychlosti [BOOLEGRAAF].

V tabulce 19 jsou uvedeny základní parametry, podle kterých byly jednotlivé hvězdicové třídiče hodnoceny indexem 1 až 4. Stroj, který byl klasifikován nejvyšším počtem bodů, byl zvolen jako ideální varianta pro inovaci současné recyklační linky na komunální odpad.

Tab. 19 Výběrové řízení hvězdicového třídíče

| Parametr | Hvězdicový třídíč | | | |
|--|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| | Multistar 2-SE | Rollster | BHS 66-15 | Lubo 7000 |
| Délka třídíče [mm] | 5996 | 3866 | 7200 | 7230 |
| Šířka třídíče [mm] | 1250 | 1554 | 2130 | 2540 |
| Třídící plocha [m ²] | 7,5 | 3,6 | 11,8 | 18,4 |
| Frakce [mm] | 90 | 75 | 150 x 300 | 108 x 273 |
| Počet tříděných frakcí | 2 | 2 | 3 | 3 |
| Elektrický příkon [kW] | 12 | 1,1 | 15 | 15 |
| Výkon [m ³ .hod ⁻¹] | 180 | 100 | 260 | 280 |
| Cena [Kč] | 4 500 000,- | 1 400 000,- | 5 700 000,- | 5 500 000,- |
| Hodnocení | | | | |
| Délka třídíče | 4 | 1 | 3 | 2 |
| Šířka třídíče | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Třídící plocha | 2 | 1 | 3 | 4 |
| Frakce | 3 | 4 | 1 | 2 |
| Počet tříděných frakcí | 2 | 2 | 4 | 4 |
| Elektrický příkon | 3 | 4 | 2 | 2 |
| Výkon | 2 | 1 | 3 | 4 |
| Cena | 3 | 4 | 1 | 2 |
| Celkem | 20 | 19 | 20 | 24 |

Jak je z tabulky patrné, optimálním řešením pro inovaci linky je hvězdicové síto od společnosti Bollegraaf Recycling Machinery typ LUBO OCC 7000, který ze čtyř hodnocených třídíčů splňuje důležité požadavky.

9.3.5. Bollegraaf Recycling Machinery

Bollegraaf Recycling Machinery je holandskou firmou, která sídlí ve městě Appingedam na severu země. Na trhu působí od roku 1961 a dodává na něj techniku a technologii využívanou pro recyklaci, stacionární a mobilní drtiče, případně celé třídírny odpadů.

Během těchto více než 50 let se firma Bollegraaf stala celosvětově známým a významným výrobcem a dodavatelem paketovacích lisů, třídících zařízení, drtičů, dopravníků a dalších strojů pro zpracování starého papíru, domácího a průmyslového

odpadu. Bollegraaf Recycling Machinery má čtyři dceřinné společnosti: v Německu, Francii, Anglii a Španělsku, dále prodejní zastoupení v celém světě – také v České republice. Všechny společnosti a zastoupení zajišťují ve svěřených zemích prodej a servis zařízení Bollegraaf.

Mezi zákazníky, kterým firma nabízí své recyklační vybavení, patří podniky, které obchodují s papírem, dále to jsou podniky, které se zabývají odpadovým hospodářstvím a zajišťují sběr, svoz, třídění a recyklaci odpadů, městské podniky, které se starají o svoz odpadů v dané lokalitě a společnosti, které působí na trhu s recyklací různých druhů odpadů, jako je stavební odpad, elektrárenský odpad, chemický odpad, odpad z dřevařské výroby a další [BOOLEGRAAF].

9.3.6. LUBO OCC 7000

Ve výběrovém řízení na základě hodnocení základních parametrů a požadavků zvítězil hvězdicový tříděč LUBO OCC 7000. Díky jeho rozměrům je vhodný k okamžitému instalování na začátek celé výrobní linky. Instalací tříděče by došlo ke snížení lidské pracovní síly z důvodu automatického třídění lepenky a papíru. OCC 7000 je určený k rozřídění tří frakcí podle velikosti, která lze měnit v závislosti na nainstalovaných hvězdách a rychlosti otáčení hřídelí, na kterých jsou hvězdy namontovány.

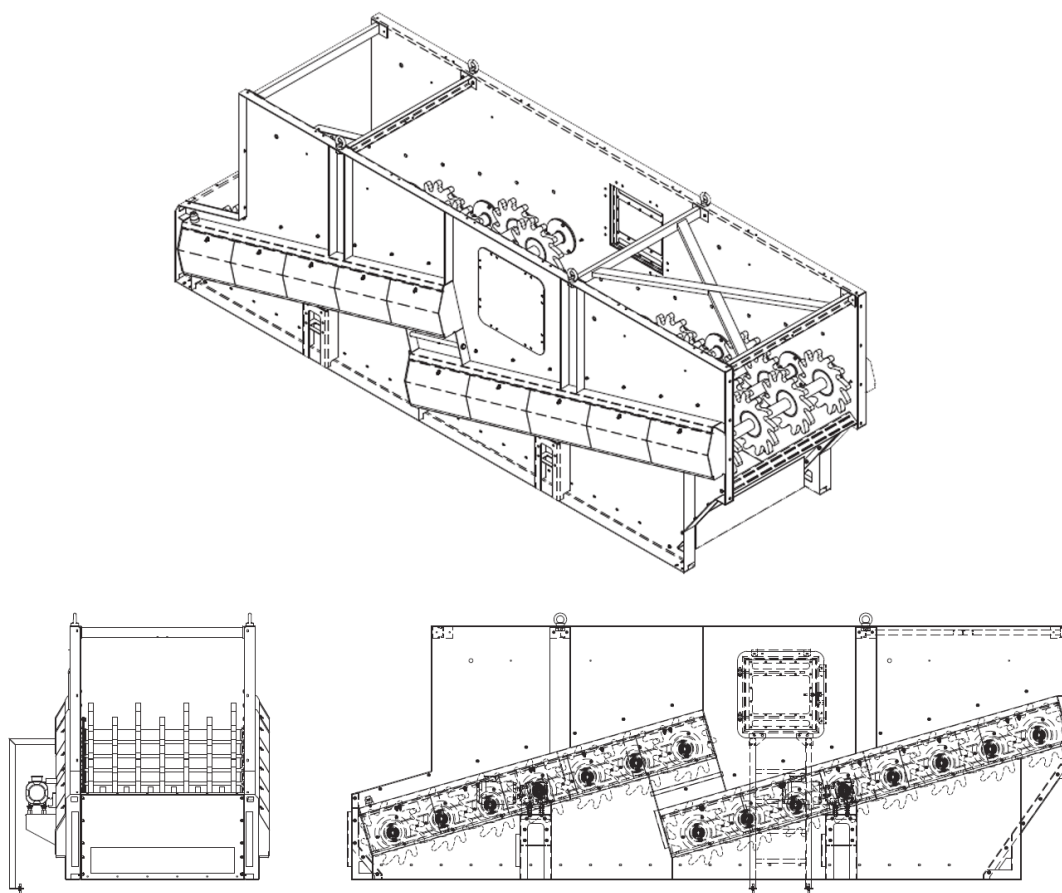
Podle požadavků zákazníka je dále možné doplnit linku o tyto součásti:

- plošinu pro údržbu zařízení opatřenou zábradlím na obou stranách síta,
- uzavření horní části tříděče,
- osvětlení,
- portálový jeřáb pro usnadněnou výměnu hřídelí s hvězdami,
- dva centrální vypínače,
- a další [BOOLEGRAAF].

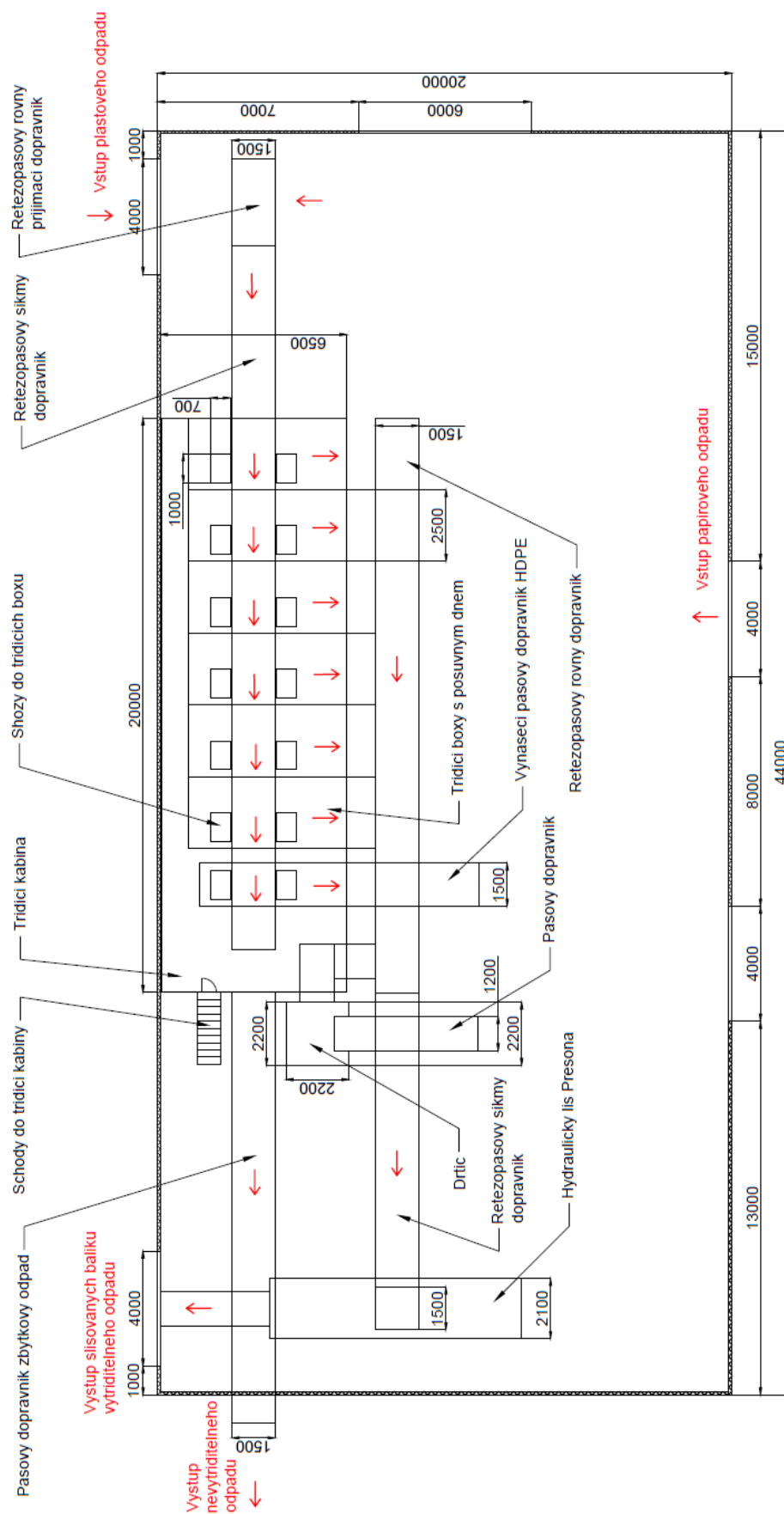
Tab. 20 Parametry LUBO OCC 7000 [BOOLEGRAAF]

| LUBO OCC 7000 | |
|----------------------------------|-------------------|
| Délka [mm] | 7230 |
| Šířka síta [mm] | 2540 |
| Šířka [mm] | 3500 |
| Výška [mm] | 2550 |
| Počet desek | 2 |
| Třídící plocha [m ²] | 18,4 |
| Šířka stěny [mm] | 8 |
| Velikost frakce [mm] | 108 x 273 |
| Úhel sklonu [°] | 16 |
| Typ hvězdic | LUBO OCC star 660 |
| Rozměr víka [mm] | 1 x 1000 x 700 |
| Pohon [kW] | 2 x 7,5 |
| Změna rychlosti | Ano |

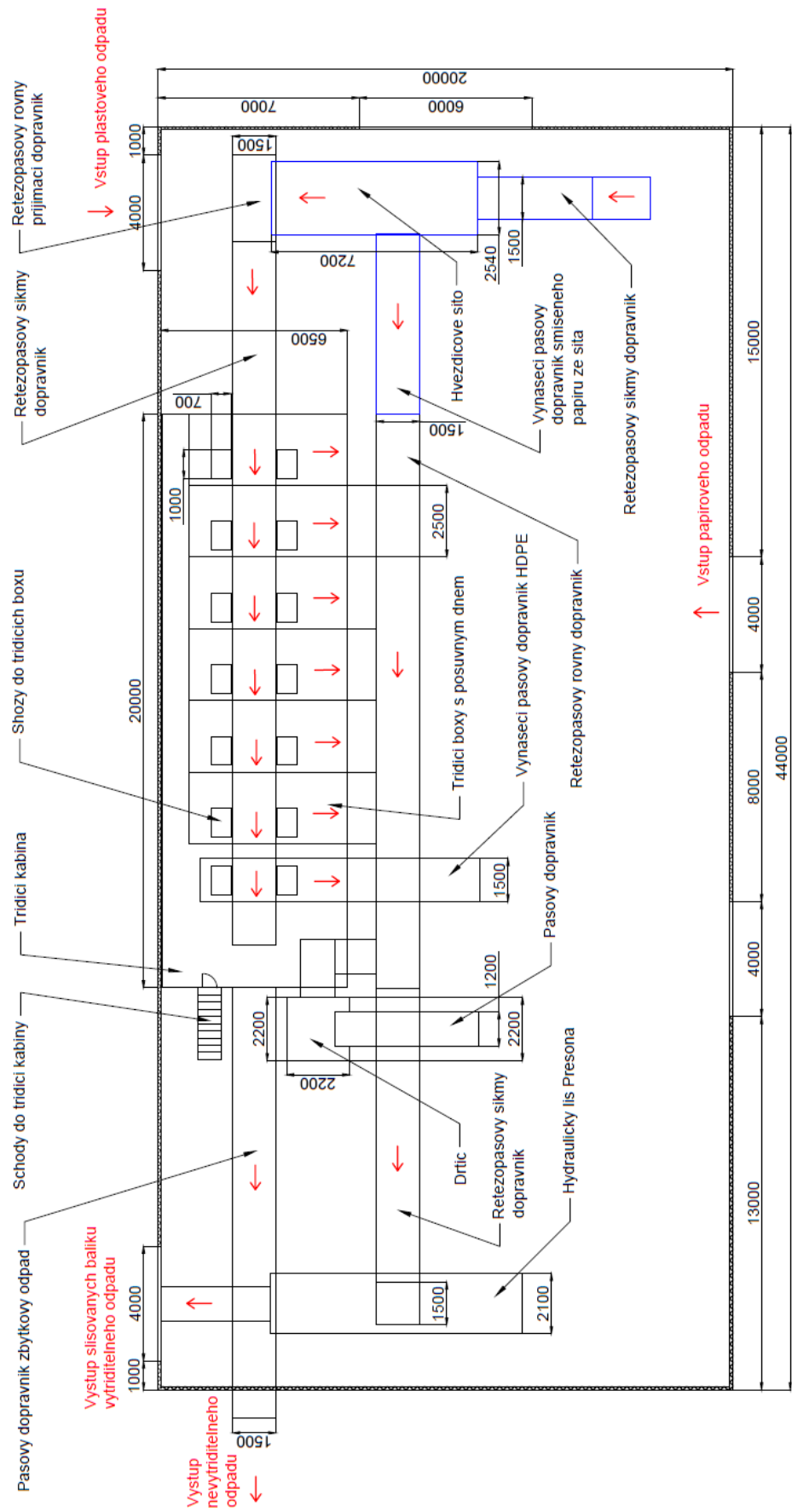
Obr. 30 Schéma LUBO OCC 7000 [BOOLEGRAAF]



Technologické schema pred inováci



Technologicke schema po inovaci



9.4. Ekonomické zhodnocení

Pro ekonomické zhodnocení slouží jako výchozí údaje hodnoty z let 2016 až 2018. Množství papíru a částka za ně přijatá jsou obsaženy v tabulce 6. Nákupní cena těchto papírů činila 22 642 650 Kč.

V pořizovací ceně hvězdicového síta, která činí 5 500 000 Kč, je započtena doprava zařízení, její montáž a případné kontroly a opravy.

9.4.1. Stanovení investičních nákladů

Investiční zdroje

Jako všechno ostatní zařízení provozu jej bude firma hradit ze svých zdrojů bez využití jakékoliv dotace.

Odpisový plán

Investice v podobě zařízení pro recyklační zařízení (třídící síto) spadá do 2. odpisové skupiny. Zařízení se bude odepisovat rovnoměrně po dobu 5-ti let s navýšením v 1. roce. Jelikož se jedná o zařízení pro čištění a úpravu vod, třídící a úpravárenská zařízení na zhodnocení druhotných surovin, může poplatník uplatnit v prvním roce odpisování odpis zvýšený o 15 %.

Tab. 21 Odpisový plán investice

| Rok | Sazba [%] | Odpis [Kč] | Zůstatková cena [Kč] |
|------|-----------|------------|----------------------|
| 2019 | 26% | 1 430 000 | 4 070 000 |
| 2020 | 18,5% | 1 017 500 | 3 052 500 |
| 2021 | 18,5% | 1 017 500 | 2 035 000 |
| 2022 | 18,5% | 1 017 500 | 1 017 500 |
| 2023 | 18,5% | 1 017 500 | 0 |

Bilance nákladů a výnosů

V posledních letech je patrný nárůst tříděného odpadu, kterým se společnost dostala na maximální kapacitu třídící linky. V následujících letech, pokud neproběhne výměna lisu, lze očekávat podobné množství odpadu, jako v posledním měřeném roce, a to 2018.

V tomto roce byl materiál zakoupen za 8 882 026 Kč a jednalo se o papírový odpad z obchodních domů, smíšený papír, lepenka atd. Firma v tomto roce po vytřídění jednotlivých složek obdržela od odběratelů 19 895 739 Kč.

V tabulce je obsažen předpokládaný objem zpracovávaného odpadu, který se pohybuje mírně pod hranicí 7 000 tun.

Variabilní náklady

Variabilní náklady jsou náklady, které jsou závislé na předpokládaném objemu zpracovávaného odpadu. Jsou kalkulovány především v souvislosti s vlastním provozem třídící linky. Do variabilních nákladů spadají náklady na nákup odpadní suroviny, na spotřebu energie, na nákup materiálu, doprava a manipulace s odpadem. Tyto položky jsou kalkulovány v závislosti na množství zpracovávaného odpadu, který se však kvůli maximálnímu vytížení lisu bude měnit minimálně.

V případě nákladů na nákup odpadního materiálu je papír vykupován v průměrné ceně 1,3 Kč za 1 kg.

Při výpočtu nákladů na spotřebu energie se uvažuje energetická spotřeba třídící linky, hydraulického lisu a hvězdicového síta s vazbou na aktuální ceník elektrické energie, který je 4,28 Kč/kWh a též množství zpracovávaného odpadu za rok. Příkon třídící linky je 75 kW s využitím 90 %, příkon hydraulického lisu je 37 kW s využitím 30 % a příkon hvězdicového síta je 15 kW s využitím 90 %. Nelze opominout i další spotřebu energie, která spočívá v osvětlení provozní haly, administrativní místnosti atd. Tato spotřeba odpovídá ročně 5 000 kWh.

Celkové náklady na spotřebu energie lze spočítat podle následující rovnice:

$$\begin{aligned} & ((P_{linka} \cdot \mu_{linka} \cdot S) + (P_{lis} \cdot \mu_{lis} \cdot S) + (P_{síto} \cdot \mu_{síto} \cdot S)) \cdot m_o + (E_{ostatní} \cdot S) \quad (1.60) \\ & ((75 \cdot 0,9 \cdot 4,28) + (37 \cdot 0,3 \cdot 4,28) + (15 \cdot 0,9 \cdot 4,28)) \cdot 6\,751 + (5\,000 \cdot 4,28) \\ & = 2\,682\,532 \text{ Kč} \end{aligned}$$

kde:

| | |
|---------------|--|
| P_{linky} | Příkon třídící linky [kW], |
| P_{lis} | Příkon hydraulického lisu [kW], |
| $P_{síto}$ | Příkon hvězdicového síta [kW], |
| μ_{linka} | Využití třídící linky [%], |
| μ_{lis} | Využití hydraulického lisu [%], |
| $\mu_{síto}$ | Využití hvězdicového síta [%], |
| S | Sazba za elektrickou energii [Kč/kWh], |
| E | Spotřeba elektrické energie [kWh]. |

Do materiálu, který je během provozu spotřebováván, patří zejména vázací drát. Pro výpočet nákladů se uvažuje spotřeba 1,5 kg drátu na jeden slisovaný balík o hmotnosti 600 kg. Cena za 1 kg drátu je 22 Kč.

$$\left(\frac{6\,750\,920}{600} \cdot 1,5 \cdot 22 \right) = 371\,300 \text{ Kč}$$

Pro manipulaci a dopravu odpadu v rámci provozního areálu firma využívá jeden kolový nakladač s kloubovým rámem a jeden vysokozdvizný vozík. Obě tato vozidla disponují vznětovými motory. Se současnou hodnotou nafty v Havlíčkově Brodě 32,40 Kč/l se bude postupovat následovně.

Spotřeba nakladače je 2,5 l/h, účinnost je 7,5 t/h, z čehož vyplývá využití 900 hodin a náklady na údržbu 50 000 Kč.

Spotřeba vysokozdvizného vozíku jsou 2 l/h, účinnost 9 t/h, z čehož vyplývá využití 750 hodin a náklady na údržbu 50 000 Kč.

$$\left((900 \cdot 2,5 \cdot 32,40 + 50\,000) + (750 \cdot 2 \cdot 32,40 + 50\,000) \right) = 221\,517 \text{ Kč}$$

Fixní náklady

Fixní náklady jsou takové náklady, které nejsou závislé na předpokládaném objemu zpracovávaného materiálu. Do fixních nákladů spadají odpisy, náklady na opravy a údržbu provozu, mzdové náklady, náklady spojené s pojištěním zařízení provozu a ostatní náklady.

Náklady spjaté s opravami a údržbou provozu slouží k zajištění stálého provozu třídící linky, bez větší odstávky, která by znamenala pro firmu ztrátu. Firma ročně platí za údržbu linky 40 000 Kč a u lisu v závislosti na jeho stáří provozu 60 000 Kč. Nové zařízení spadá pod záruční lhůtu, na něj se náklady na údržbu tedy nevztahují.

Mzdové náklady jsou kalkulovány pro 5 dělníků, dva řidiče manipulačních zařízení a jednoho mistra provozu.

Tab. 22 Výše jednotlivých mezd

| Pracovní pozice | Hrubá mzda [Kč] | Hrubá mzda včetně odvodů SPZP [Kč] |
|-----------------------|-----------------|------------------------------------|
| Dělník (5x) | 13 350 | 17 900 |
| Řidič (2x) | 18 800 | 25 200 |
| Mistr | 26 000 | 34 900 |
| Celkem za rok: | | 2 097 600 |

Dalšími položkami fixních nákladů je pojištění, které ročně činí 300 000 Kč a ostatní provozní náklady, které zahrnuje nejnужnější vybavení pro zaměstnance (řezáky, rukavice, oblečení, atd.). Toto vybavení se každý rok pohybuje kolem 50 000 Kč.

Celkové náklady jsou součtem nákladů variabilních a fixních.

Výsledek hospodaření je rozdíl výnosů z prodeje a celkových nákladů, čistý zisk je zisk snížený o 19 % daně z příjmů.

Cashflow se v prvním roce vypočítá jako součet zisku a odpisů, od kterých se odečte cena do investovaného vybavení. V dalších letech se Cashflow vypočte jako součet zisku s odpisy.

Diskontované Cashflow je součet Cashflow s diskontovaným Cashflow z minulého roku (v prvním roce tedy Cashflow + 0).

Tab. 23 *Bilance výnosů a nákladů*

| Položky | Rok | | | | | |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------|
| | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | |
| Výnosy z prodeje [Kč] | 19 546 951 | 19 579 901 | 20 126 915 | 19 930 408 | 19 977 771 | |
| Variabilní náklady | Nákup surovin [Kč] | 8 726 317 | 8 741 027 | 8 985 229 | 8 897 503 | 8 918 647 |
| | Náklady na energie [Kč] | 2 682 532 | 2 687 018 | 2 761 488 | 2 734 728 | 2 741 184 |
| | Náklady na materiál [Kč] | 371 301 | 371 927 | 382 317 | 378 583 | 379 484 |
| | Doprava a manipulace [Kč] | 221 517 | 221 721 | 225 122 | 223 900 | 224 195 |
| Fixní náklady | Odpisy [Kč] | 1 430 000 | 1 017 500 | 1 017 500 | 1 017 500 | 1 017 500 |
| | Údržba a opravy [Kč] | 100 000 | 100 000 | 100 000 | 100 000 | 100 000 |
| | Mzdové náklady [Kč] | 2 097 600 | 2 097 600 | 2 097 600 | 2 097 600 | 2 097 600 |
| | Pojištění techniky [Kč] | 300 000 | 300 000 | 300 000 | 300 000 | 300 000 |
| | Ostatní náklady [Kč] | 50 000 | 50 000 | 50 000 | 50 000 | 50 000 |
| Náklady celkem [Kč] | 15 979 266 | 15 586 792 | 15 919 257 | 15 799 814 | 15 828 610 | |
| Výsledek hospodaření [Kč] | 3 567 685 | 3 993 109 | 4 207 658 | 4 130 594 | 4 149 161 | |
| Daň z příjmů (19 %) [Kč] | 677 860 | 758 691 | 799 455 | 784 813 | 788 341 | |
| Čistý zisk [Kč] | 2 889 825 | 3 234 418 | 3 408 203 | 3 345 781 | 3 360 821 | |
| CashFlow [Kč] | -502 315 | 4 251 918 | 4 425 703 | 4 363 281 | 4 378 321 | |
| Diskontované CashFlow [Kč] | -502 315 | 3 749 603 | 8 175 307 | 12 538 588 | 16 916 908 | |

9.4.2. Posouzení ekonomické efektivity investice

Čistá současná hodnota

ČSH je finanční veličina, která vyjadřuje současnou hodnotu budoucích peněžních toků a případného současného výdaje. Používá se jako kritérium pro hodnocení výnosnosti

investičních projektů. Jeho nespornou výhodou je zohlednění faktoru času. Úroková diskontní sazba je aktuálně kolem 4 %, proto se zde s touto hodnotou počítá.

$$\check{C}SH = \sum_{k=1}^M \frac{CF_k}{(1+i)^k} - PC \text{ [Kč]} \quad (1.61)$$

Kde:

M Počet let provozu investice [-],

k Počet let [-],

i Úroková sazba [%],

CF_k CashFlow v k-tém roce [Kč],

PC Pořizovací cena [Kč].

Čistá současná hodnota investice po 5 letech je 9 210 988 Kč při úrokové sazbě 4 %.

Index rentability

Index rentability je poměr současné hodnoty Cashflow k investičním výdajům.

$$IR = \frac{CF_{SH}}{PC} \text{ [-]} \quad (1.62)$$

Kde:

CF_{SH} Současná hodnota Cashflow [Kč],

PC Pořizovací cena [Kč].

Index rentability po 5 letech investice je 2,67.

Doba návratnosti investice

Doba návratnosti investice vyjadřuje čas, za jaké období se peněžní příjmy z investice vyrovnají počátečním investičním nákladům. Doba návratnosti se pohybuje mezi druhým a třetím rokem, jak je patrné z tabulky.

$$DN_3 = \frac{PC - dCF_2}{\frac{dCF_3 - dCF_2}{12}} \text{ [měsíce]} \quad (1.63)$$

Kde:

PC Pořizovací cena [Kč],

dCF Diskontovaný Cashflow [Kč].

Doba návratnosti investice hvězdicového síta jsou 2 roky a 5 měsíců.

Vnitřní výnosové procento

Metoda vnitřního výnosového procenta hledá takovou úroveň diskontní míry, která zajistí, že současná hodnota očekávaných peněžních toků bude stejná jako počáteční výdaj na investici.

$$VVP = i_1 + \frac{\check{C}SH_9}{\check{C}SH_9 + |\check{C}SH_{36}|} \cdot (i_2 - i_1) [\%] \quad (1.64)$$

Pomocí metody iterace bylo stanoveno vnitřní výnosové procento 38,99 %.

9.4.3. Posouzení ekonomického zhodnocení

Z vypočtených výsledků je zřejmé, že investice ve všech metodách je výhodná. V případě čisté současné hodnoty je investice v kladných číslech, což značí, že je investice výhodná. Další metodou je index rentability, který říká, že se investice v době pěti let vrátí více než dvakrát. U doby návratnosti se investice vyplatí v případě, že doba návratnosti investice je méně, než polovina její doby odepisování. V případě investice do hvězdicového síta by se vrátila po necelých dvou a půl letech odepisování. Posledním kritériem je vnitřní výnosové procento, u kterého se investice považuje za akceptovatelnou v případě, je-li jeho hodnota vyšší, než je diskontní míra stejně rizikových investic.

10. Diskuze a závěr

Tato diplomová práce se zabývá aktuální problematikou, tedy nakládáním a využitím odpadních plastů a papírů. V teoretické části jsou shrnuty a představeny jednotlivé druhy těchto materiálů, které je nutné v závislosti na jejich dalším zpracování rozlišovat. V další kapitole je obsaženo seznámení se s jednotlivými metodami zpracování, které se v současnosti využívají. Dle Plánu odpadového hospodářství je nastavena hierarchie nakládání s odpady, ve které je na prvním místě jejich opětovné využití. V některých případech však znovupoužití není možné, proto se přistupuje k alternativním způsobům nakládání s odpady.

Hlavním úkolem této diplomové práce byl návrh energetického využití, právě pro směs odpadního plastu, který již není možné z důvodu přílišného znečištění nebo špatné kvality znovu použít. Proto byla u tohoto odpadu provedena analýza a následné porovnání s tabulkovými údaji a vyhodnocení, zda je vhodný pro spalování v cementačních pecích. Naměřené a vypočtené hodnoty výhřevnosti, obsahu popela, chloru, síry, vodíku a dusíku byly srovnávány s tabulkovými údaji, přičemž se došlo k závěru, že hodnoty se u všech vzorků liší minimálně. Výjimku tvořil nápojový karton, u kterého hodnoty kolísají v závislosti na materiálovém složení obalu. Pokud se vychází ze standardního složení 75 % papír, 20 % polyetylen a 5 % hliník, je rozdíl mezi hodnotami minimální. V případě výhřevnosti, která hraje nejdůležitější roli u tuhých alternativních paliv, se jedná o rozdíl 3 MJ.kg⁻¹.

V úvodu práce byla položena otázka, zda je výmět třídící linky vhodný pro spalování v cementační peci. Jak definuje norma ČSN EN 15359, tuhé alternativní palivo musí splňovat určité kvalitativní parametry. Po změření a vypočtení lze říct, že palivo splňuje všechny tyto parametry, jelikož výhřevnost je o více než 10 MJ.kg⁻¹ vyšší než je požadovaná hodnota 22 MJ.kg⁻¹. Obsah vlhkosti je díky nízkému množství papíru ve směsi na hodnotách kolem 1,2 % hm. Dalšími požadavky je obsah popela, který smí mít maximálně 10 hmotnostních procent. V případě zbytkového odpadu se jedná o necelých 2,5 % hm. Obsah síry má být maximálně 0,9 % hm, ve vzorku ho však bylo zanedbatelné množství. Jediným parametrem, který byl oproti ostatním mírně zvýšený, byl obsah chloru, kvůli velkému výskytu PVC ve směsi. I přes to se vzorek vešel do limitů normy, tedy 0,5 % hm.

Cílem práce bylo též navrhnout inovaci linky na třídění komunálního odpadu. Jelikož 80 % kapacity linky tvoří papírový odpad, byla linka doplněna o zařízení, které slouží k oddělení jednotlivých druhů papíru. Bylo provedeno výběrové řízení, do kterého byla

zařazena čtyři hvězdicová síta podle základních parametrů. Multikriteriálním bodovacím hodnocením byl zvolen třídič LUBO OCC 7000, jehož parametry nejvíce vyhovují pro současný provoz a kapacitu třídící linky. Velkou roli při výběru sehrála velikost třídící plochy a možnost výměny třídících hvězdic, změny rychlosti a náklonu zařízení. Pro přehlednost bylo vypracováno schéma provozní budovy před a po samotné realizaci hvězdicového třídiče. Investice byla následně ekonomicky zhodnocena a podle všech parametrů je pro firmu výhodná. Investice do třídiče se vrátí po 2 a půl letech, podle indexu rentability se náklady na investici vrátí za dobu odepisování více než dvakrát a čistá současná hodnota se nachází v kladných číslech, při současné diskontní sazbě 4 %.

11. Seznam použité literatury

- 1) Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů. 2001.
- 2) Zákon č. 477/2001 Sb., o obalech a o změně některých dalších zákonů. 2001.
- 3) Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých dalších zákonů. 2001.
- 4) Zákon č. 2001/2012 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů. 2012.
- 5) Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí. 1992.
- 6) Plán odpadového hospodářství České republiky (2013-2022), Ministerstvo Životního prostředí. 2012.
- 7) Program předcházení vzniku odpadů ČR, Ministerstvo životního prostředí, Praha 2014.
- 8) SMEJTKOVÁ, Andrea a Jaroslav DOBIÁŠ. Obaly a obalová technika. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2004. ISBN 80-213-1315-3.
- 9) JANOVEC, Jan. Technické materiály v primárním a preprimárním vzdělávání. V Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2013. ISBN 978-80-7414-596-4.
- 10) Vyhláška MŽP č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných
- 11) odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup
- 12) při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů (Katalog odpadů).
- 13) Značka na kombinovaných obalech, NIS [online]. [cit. 2017-03-20]. Dostupné z:
http://www.n-i-s.cz/userfiles/Zach_vseobecne_pozadavky_Ekologie/Obaly_Graficke_znacky/Oznaceni_obalu_z_papir-polypropylen_celek.jpg
- 14) Informační systém odpadového hospodářství. MŽP ČR. [online]. 2014 [cit. 2017-03-20].
Dostupné z:
<http://www.mpo.cz/assets/dokumenty/51372/60887/635845/priloha002.pdf>
- 15) Historie plastů, MUNI [online]. [cit. 2017-03-20]. Dostupné z:
<http://www.ped.muni.cz/wtech/petrik/pracestechnickymimaterialy/plasty/historieplastu.html>
- 16) Historie plastů. FACTORY AUTOMATION [online]. 2016 [cit. 2017-03-20].
Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/historie-plastu-od-prvniho-celuloidu-po-dnesni-vstrikovani/>
- 17) Plasty a jejich zpracovatelské vlastnosti. KSP.TUL [online]. [cit. 2017-03-20].
Dostupné z:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/01.htm

- 18) CHOTĚBORSKÝ, Rostislav. Nauka o materiálu. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2011. ISBN 978-80-213-2236-3.
- 19) DUCHÁČEK, Vratislav a Zdeněk HRDLIČKA. Gumárenské suroviny a jejich zpracování. Vyd. 4., přeprac. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2009. ISBN 978-80-7080-713-2.
- 20) BĚHÁLEK, Luboš. POLYMERY [online]. 2015 [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/05.html>
- 21) 17) Využití plastového odpadu. EKO-KOM [online]. 2016 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.jaktridit.cz/cz/co-se-deje-s-odpadem/recyklace-a-vyuziti-plastu>
- 22) Recycling & Recovery. PlasticsEurope [online]. 2016 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.plasticseurope.org/what-is-plastic/recycling-recovery.aspx>
- 23) Papír. Třídění odpadu [online]. 2015 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://www.trideniodpadu.cz/papir>
- 24) Vyhláška č. 93/2016 Sb., o Katalogu odpadů, 2016
- 25) ZUMAN, František, VYKYDAL, Miroslav a Josef KORDA, ed. Papír: historie řemesla a výrobní techniky. [Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985.
- 26) Ruční papír. RUČNÍ PAPIRMA LOSINY [online]. 2010 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.rucni-papir-losiny.cz/historie-papiru.asp>
- 27) Papír. POLYGRAFICKÉ TAHÁKY [online]. 2009 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: http://www.polygraficketahaky.cz/papir_1
- 28) KAPLANOVÁ, Marie a kol. Moderní polygrafie. Praha: Svaz polygrafických podnikatelů, 2010, 391 s. ISBN 978-80-254-4230-2
- 29) PANÁK, Ján, Michal ČEPPAN, Vladimír DVONKA, Ludovít KARPINSKÝ, Pavel KORDOŠ, Milan MIKULA a Stefan JAKUCEWICZ. Polygrafické minimum. 2. doplněné vydání. Bratislava: TypoSet, 2000, 264 s. ISBN 80-967811-3-8.
- 30) STEPA [online]. 2015 [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://www.stepa.cz/o-nas/technicka-data/drahy-papiru-smer-vlaken>
- 31) ČSN EN 643. Papír a lepenka - Evropský seznam normalizovaných druhů sběrového papíru a lepenky. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- 32) Využití papírového odpadu. EKO-KOM [online]. 2016 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.jaktridit.cz/cz/co-se-deje-s-odpadem/recyklace-a-vyuziti-papiru>

- 33) MÜLLER, Miroslav. Zpracovny nekovového odpadu. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, katedra materiálu a strojírenské technologie, 2008. ISBN 978-80-213-1840-3.
- 34) Flotační metoda. Laboratoř Flotace [online]. 2014 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://laborator-flotace.webnode.cz/o-nas/>
- 35) Optický detekční způsob. ODPADY-ONLINE [online]. 2007 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/predstaveni-automaticke-tridici-linky-s-nir-detekci/>
- 36) DODBIBA, G a T FUJITA. Physical Separation in Science and Engineering [online]. In: . 2004 [cit.2017-03-21] . Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/50300490_fig5_FIGURE-16-Schematic-design-of-triboelectric-cyclone-separator
- 37) BOEUT, Sophea. Plastic Recycling Technology [online]. 2014, 19 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/sophea79/plastic-recycling-technology>
- 38) Technologie vstřikování plastů. PUBLI [online]. 2015 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/02.html>
- 39) Vstřikování plastů. KSP.TUL [online]. 2008 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/04-vstrikovani%20plastu/
- 40) KEPÁK, František. Průmyslové odpady. Vyd. 2. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2010-. ISBN 978-80-7414-228-4.
- 41) Technologický proces spalování. SAKO [online]. 2013 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.sako.cz/stranka/cz/62/technologicky-proces/>
- 42) Schéma zplyňování. In: VYTÁPĚNÍ.TZB-INFO [online]. 2017 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/docu/clanky/0137/013729o1.jpg>
- 43) Pyrolýzní zpracování odpadů. STROBO [online]. 2010 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.strobo.cz/editor.php?kategorie=1023sekce=1008>
- 44) MALAŤÁK, Jan, Petr JEVIČ a Petr VACULÍK. Účinné využití tuhých biopaliv v malých spalovacích zařízeních s ohledem na snižování emisí znečišťujících látek. Praha: Powerprint, 2010. ISBN 978-80-87415-02-3.
- 45) TGA701: Termogravimetrický analyzátor pro organické, inorganické a syntetické

- vzorky. LECO [online]. Plzeň: LECO Instrumente, ©2012 [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <http://cz.leco-europe.com/product/tga701/>
- 46) VÁŇA, Jaroslav, Aleš HANČ a Jan HABART. Pevné odpady 2009. Vydání třetí, přepracované. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2009. ISBN 978-80-213-1992-9.
- 47) HNĚTKOVSKÝ, Václav a kolektiv. Papírenská příručka. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1983.
- 48) DOLEŽAL, Ivan. Zpracování odpadového papíru. SVĚT TISKU [online]. 2004 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=6557&buxus_svettisku=
- 49) Výroba papíru. In: ELUC [online]. 2014 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2541>
- 50) KORDA, Josef. Papírenská encyklopedie. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1991. Oborové encyklopedie.
- 51) PRÁŠILOVÁ, Jana a Jiří KAMENÍČEK. Výroba papíru. In: UČITEL CHEMIE [online]. 2007 [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: http://ucitelchemie.upol.cz/materialy/vkpch/vyroba_papiru_jp.pdf
- 52) HBH odpady s.r.o. Havlíčkův Brod, 2016, firemní podklady
- 53) Hvězdíkový třídič Rollster [online]. [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: http://www.drvice.sk/drvic/hviezdicovy_triedic_triedenie_materialov.htm
- 54) Hvězdíkový třídič LUBO [online]. [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.bollegraaf.com/lubo-systems/lubo-occ-starscreen-2>
- 55) Hvězdíkový třídič Komptech [online]. [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.komptech.com/en/products-komptech/pdetails/multistar-2-se.html>
- 56) Hvězdíkový třídič BHS [online]. [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://www.bulkhandlingsystems.com/equipment/occ-separator/>
- 57) BALÁŠ, Marek, Zdeněk SKÁLA a Martin LISÝ. [online]. 2014 [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/nakladani-s-odpady/11897-spalovny-odpadu-odpad-jako-palivo>
- 58) A.L. Mourad, E.E.C. Garcia, G.B. Vilela, Influence of recycling rate increase of aseptic carton for long-life milk on GWP reduction, Resources, Conservation and Recycling 52 (2008) 678 – 689.

59) SASSMANOVÁ, Veronika a Petr PAVLÍK. [online]. 2017 [cit. 2019-03-28]. Dostupné z: <http://www.allforpower.cz/clanek/termicke-zpracovani-vicestvrstevnych-obalu/>

60) ANDRADY, Anthony L. PLASTICS AND THE ENVIRONMENT. New Jersey.: John Wiley & Sons, 2003. ISBN 0-471-09520-6.

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. 1 Značka na obalech [Plast EKO-KOM, 2016] | 8 |
| Obr. 2 Značka na kombinovaných obalech [Značení kombinovaných obalů, NIS] | 8 |
| Obr. 3 Spotřeba polymerních materiálů v Evropě [BĚHÁLEK, 2015] | 11 |
| Obr. 4 základní dělení polymerních materiálů [BĚHÁLEK, 2015] | 18 |
| Obr. 5 Směr výroby papíru [STĚPA, 2015] | 21 |
| Obr. 6 Příklad označování druhů sběrového papíru dle normy ČSN EN 643 [ČSN EN 643, 2002] | 27 |
| Obr. 7 Flotační metoda [Laboratoř flotace, 2014] | 29 |
| Obr. 8 Triboelektrická metoda [DODBIBA, FUJITA, 2004] | 29 |
| Obr. 9 Optická metoda [ODPADY_ONLINE, 2007] | 30 |
| Obr. 10 Nožový drtič [MÜLLER, 2008] | 31 |
| Obr. 11 Granulace z pásu [PUBLI, 2015] | 32 |
| Obr. 12 Granulace ze strun za studena [PUBLI, 2015] | 32 |
| Obr. 13 Granulace ze strun za tepla [PUBLI, 2015] | 33 |
| Obr. 14 Vstříkování plastů [KSP.TUL, 2008] | 34 |
| Obr. 15 Vytlačování plastů [KSP.TUL, 2008] | 34 |
| Obr. 16 Schéma zpracování papírového odpadu [ELUC, 2014] | 36 |
| Obr. 17 Papírenský stroj [PRÁŠILOVÁ, KAMENÍČEK, 2007] | 40 |
| Obr. 18 Schéma spalovny odpadu – Sako Brno [SAKO, 2013] | 42 |
| Obr. 19 Schéma procesu zplyňování [VYTÁPĚNÍ.TZB, 2017] | 44 |
| Obr. 20 Schéma procesu pyrolýzy [STROBO, 2010] | 45 |

| | |
|---|----|
| Obr. 21 Provozovna HBH odpady s.r.o. [Zdroj: Vlastní foto] | 50 |
| Obr. 22 Dotříd'ovací linka HBH odpady s.r.o. [Zdroj: Vlastní foto]..... | 51 |
| Obr. 23 Hydraulický lis Presona LP 50 VH2 [Zdroj: Vlastní foto]..... | 52 |
| Obr. 24 Ruční separace plastu [Zdroj: Vlastní foto]..... | 53 |
| Obr. 25 Princip hvězdicového síta [ROLLSTER] | 73 |
| Obr. 26 Oddělení nadsítné a podsítné frakce [BHS] | 74 |
| Obr. 27 Hvězdicové síto Komptech Multistar 2-SE [KOMPTECH] | 75 |
| Obr. 28 Hvězdicový třídič Rollster [ROLLSTER] | 76 |
| Obr. 29 Hvězdicový třídič BHS OCC [BHS] | 77 |
| Obr. 30 Schéma LUBO OCC 7000 [BOOLEGRAAF] | 80 |

Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tab. 1 Identifikační kódy plastů [SMEJTKOVÁ, DOBIÁŠ, 2004]..... | 9 |
| Tab. 2 Identifikační kódy papíru [SMEJTKOVÁ, DOBIÁŠ, 2004] | 9 |
| Tab. 3 Spalná tepla vybraných plastů, pryže a jiných materiálů [KEPÁK, 2010] | 43 |
| Tab. 4 Objemové a hmotnostní složení suchého vzduchu [MALAŤÁK, 2010] | 58 |
| Tab. 5 Molekulové hmotnosti prvků v hořlavině [MALAŤÁK, 2010]..... | 59 |
| Tab. 6 Vzorky materiálu z třídící linky..... | 62 |
| Tab. 7 Směs plastů | 63 |
| Tab. 8 PVC | 63 |
| Tab. 9 Celkové množství jednotlivých složek po roztřídění | 63 |
| Tab. 10 Hmotnostní rozdíly čistých a znečištěných surovin | 64 |
| Tab. 11 Výhřevnost a chemický vzorec měřených vzorků..... | 64 |
| Tab. 12 Průměrné hodnoty analytické vzorky | 67 |
| Tab. 13 Průměrné hodnoty suchý stav | 67 |
| Tab. 14 Porovnání TAP | 70 |
| Tab. 15 Objemové spalování | 71 |
| Tab. 16 Hmotnostní tok v závislosti na výkonu kotle | 72 |

| | |
|--|----|
| Tab. 17 Množství papírového odpadu | 73 |
| Tab. 18 Druhy hvězd u hvězdicových třídíčů [BOLLEGRAAF]..... | 74 |
| Tab. 19 Výběrové řízení hvězdicového třídíče | 78 |
| Tab. 20 Parametry LUBO OCC 7000 [BOOLEGRAAF] | 80 |
| Tab. 21 Odpisový plán investice..... | 83 |
| Tab. 22 Výše jednotlivých mezd | 85 |
| Tab. 23 Bilance výnosů a nákladů | 86 |

Seznam grafů

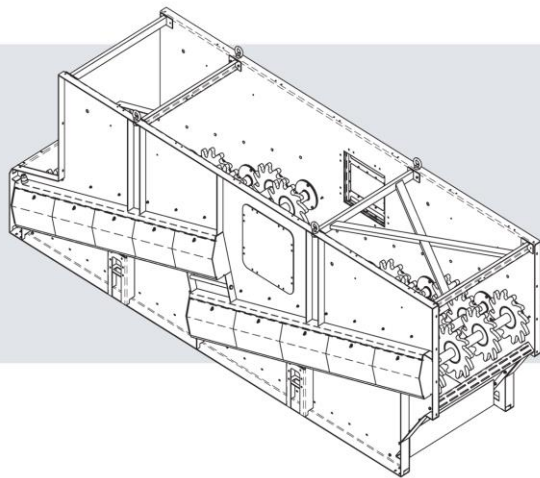
| | |
|--|----|
| Graf 1 Porovnání výhřevností jednotlivých vzorků v závislosti na vodě v palivu | 69 |
|--|----|

12. Přílohy

Technical information sheet

The OCC (Old Corrugated Cardboard) star screen is perfectly suited to separate large cardboard from the material flow. The over fraction is large cardboard. Paper, small cardboard and small material will be screened off. This particular screen is placed at the beginning of a sorting installation to separate large cardboard, making manual separation of large cardboard redundant.

Old Corrugated Cardboard Screen



Screening deck

The OCC screening deck consists of various axles, on which rubber stars are mounted. The stars have a diameter of 660 mm.

The screening size can be determined by means of the size of the stars, the interval between the stars and the rotation speed. This is approximately the size of a sheet of A3.

The feed of the OCC screen has a double setting of stars. On feeding the material, this prevents material with a medium size falling through the screening deck.

The star screen has an inspection door with an electric safety switch. The screen's drive is made of high quality materials. Standard, the Lubo star screen is driven by SEW motor reducers. The adjacent star axles will be driven by means of chains and gear wheels. The speed of the screening deck is variable due to the use of frequency transformers. The screen size can be set by adjusting the speed.

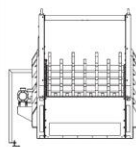
The screen uses the difference in size and rigidity of the material. The cardboard is hit over the screen by the stars and the paper slides between the stars.

Options as per your request

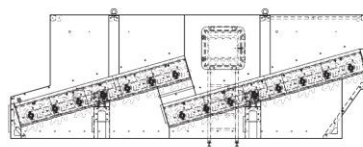
- A maintenance platform on both sides of the screen equipped with a railing which can be reached by a cage ladder.
- The top of the screen can be closed.
- Strip lighting (flame proof, 36 Watt, 110/230 Volt).
- A crane gantry to simplify replacing the star axles. The crane gantry has a travelling crab. A hoist can be attached to the travelling crab. Star axles can be hoisted in and out of the screening deck with the hoist.
- 2 emergency stop buttons.
- A working switch with feedback to the switch box to make the motors tension free.
- The screen can be supported on an open steel construction.
- A rubber overflow on the underside of the screen.
- An overflow on the discharge side of the screen with a plate thickness of 3 mm.

Specifications

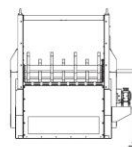
| Type OCC screen | 5600 | 7000 | 9000 |
|--|---|--------------------|--------------------|
| Screen Length (mm) | 5640 | 7230 | 9320 |
| Screen Deck widths (mm) | 1640 / 2040 / 2540 | 1640 / 2040 / 2540 | 1640 / 2040 / 2540 |
| Total machine widths (mm) | 2600 / 3000 / 3500 | 2600 / 3000 / 3500 | 2600 / 3000 / 3500 |
| Total machine height (mm) | 2550 | 2550 | 2550 |
| Number of Decks | 1 | 2 | 3 |
| Thickness of side walls (mm) | 8 | 8 | 8 |
| Screen Size (variable by speedcontrol) | DIN A3 | DIN A3 | DIN A3 |
| Screen Angle | 16 degrees | 16 degrees | 16 degrees |
| Star Type / Diameter (mm) | Lubo OCC star 660 | Lubo OCC star 660 | Lubo OCC star 660 |
| Spacer Diameter / Type | 108 / 108S / 273 | 108 / 108S / 273 | 108 / 108S / 273 |
| Inspection / Access Door (# x H x W) | 1 x 1000 x 700 mm | 1 x 1000 x 700 mm | 2 x 1000 x 700 mm |
| Quick Disconnect | Not available | Not available | Not available |
| Drives 1640 & 2040 wide | 2 x 5,5 kW | 2 x 5,5 kW | 3 x 5,5 kW |
| Drives 2540 wide | 2 x 7,5 kW | 2 x 7,5 kW | 3 x 7,5 kW |
| Speed control | Variable by means of frequency regulators | | |



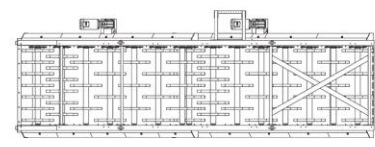
front view



side view



back view



top view

Lubo Systems b.v.

Phileas Foggstraat 85, 7825 AW Emmen, The Netherlands
 Tel: +31 (0)591 66 80 80, Fax: +31 (0)591 66 80 88
 info@lubo.nl, www.lubo.nl

