

Systemy pro automatizované třídění odpadů obsahující obaly na potraviny

Jiří Doubrava

Bakalářská práce
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav technologie potravin

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Jiří Doubrava
Osobní číslo: T18012
Studijní program: B2901 Chemie a technologie potravin
Studijní obor: Chemie a technologie potravin
Forma studia: Kombinovaná
Téma práce: Systémy pro automatizované třídění odpadů obsahujících obaly na potraviny

Zásady pro vypracování

Zásady pro vypracování

1. Prostudovat literaturu k danému tématu.
2. Popsat principy fungování dostupných třídících systémů.
3. Porovnat dostupné a systémy z hlediska účinnosti, ekonomiky.
4. Výsledky přehledně sepsat do formy bakalářské práce.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- [1] Sereda, T.G., Kostarev, S.N. Development of automated control system for waste sorting (2019) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 537 (6), art. no. 062012
- [2] Dharmana, M.M., Usha Mahathi, L.N., Indarapu, A., Mohan Reddy, B.H. Plastic Segregation Machine Using Audio Signal Analysis (2019) Proceedings of the 3rd International Conference on Electronics and communication and Aerospace Technology, ICECA 2019, art. no. 8821842, pp. 982-985
- [3] Kokoulin, A.N., Yuzhakov, A.A., Tur, A.I., Knyazev, A.I. The optical method for the plastic waste recognition and sorting in a reverse vending machine (2019) International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 19 (4.1), pp. 793-800
- [4] Gruber, F., Grählert, W., Wollmann, P., Kaskel, S. Classification of black plastics waste using fluorescence imaging and machine learning (2019) Recycling, 4 (4), art. no. 40
- [5] Tong, X., Tao, D., Lifset, R. Varieties of business models for post-consumer recycling in China (2018) Journal of Cleaner Production, 170, pp. 665-673

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Mgr. Marek Koutný, Ph.D.**
Ústav inženýrství ochrany životního prostředí

Datum zadání bakalářské práce: **31. prosince 2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2021**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Robert Gál, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. února 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použítou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

V této rešeršní práci se zaměřuji na možnosti automatického třídění potravinových obalů z odpadu. Uvádím zde k tomu běžně využívané metody pro separaci a identifikaci jednotlivých materiálů. Je zde rozebráno i využití umělé inteligence jakožto rozhodovacího prvku identifikace materiálů. Představuji také zařízení některých výrobců, které lze pro tyto potřeby využít, a příklady reálných systémů uvedených do provozu.

Klíčová slova: Potravinové obaly, třídění odpadu, separace odpadu, identifikace odpadu

ABSTRACT

This literature survey focuses on options for automated sorting of food packaging from waste streams. Commonly used methods for separation identification of individual materials are presented in this work. The usage of artificial intelligence as a decision-maker for the identification of materials is analyzed here as well. Devices from some manufacturers are also presented which can be used for these purposes, and examples of real systems that have been put into operation.

Keywords: Food packaging, waste sorting, waste separation, waste identification

Děkuji svému vedoucímu práce za jeho čas, podněty a náhled na probíranou tematiku.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
1 TEORETICKÁ ČÁST	10
1 CÍLE PRÁCE	11
2 PRINCIPY SEPARACE	12
2.1.1 Šnekový lis	12
2.1.2 Kotoučový třídič.....	13
2.1.3 Magnetický buben	13
2.1.4 Pásový dopravník s magnetickým kladkou	14
2.1.5 Vířivý proud	15
2.1.6 Flotační separace	15
2.1.7 Triboelektrický jev	16
2.2 NEPŘÍMÁ SEPARACE	17
2.2.1 Metody identifikace	18
2.2.2 Identifikace materiálů.....	20
3 VYUŽITÍ VÝPOČETNÍ TECHNIKY	22
3.1 UMĚLÁ NEURONOVÁ SÍŤ.....	22
3.1.1 Příklady modelů	22
3.2.1 Příklady modelů	23
3.4 NAVRHOVANÉ A ZKOUMANÉ SYSTÉMY	23
4 TECHNOLOGIE DOSTUPNÉ NA TRHU	25
4.2 KOTOUČOVÉ TŘÍDIČE	25
4.3 MAGNETICKÁ ZAŘÍZENÍ	27
4.4 TRIBOELEKTRICKÉ SEPARÁTORY	30
4.5 ZAŘÍZENÍ PRO SEPARACI POMOCÍ NIR	31
4.6 ZAŘÍZENÍ PRO DETEKCI POMOCÍ XRF	33
4.7 OPTICKÁ ZAŘÍZENÍ	33
4.8 ZAŘÍZENÍ PRO DETEKCI POMOCÍ LIBS	33
5 SOUČASNÉ INSTALACE	35
5.1 PERTH MATERIAL RECOVERY FACILITY	35
5.2 LEA RIVERSIDE	36
ZÁVĚR	38
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	39
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	50
SEZNAM OBRÁZKŮ	51

ÚVOD

Mnoho potravin, které kupujeme, se prodává v obalech, kterých se pro konzumaci musíme zbavit. Většina těchto obalů je pro jedno použití. Největší skupiny potravinových obalů jsou papír, plasty a sklo. Použité obaly se odvíjí od místa zakoupení potraviny, zamýšleného použití obalu a času údržnosti.(1)

V České republice bylo v roce 2019 vyprodukováno přes 37 milionů tun odpadů, z toho přes 5 tun tvořil odpad komunální.(2, 3) Komunální odpad je definován jako směsný odpad a odděleně sbíraný odpad z domácností, včetně papíru a lepenky, skla, kovů, plastů, biologického odpadu, dřeva, textilu, obalů, elektrického odpadu a elektronických zařízení, použitých baterií a akumulátorů a objemný odpad, včetně matrací a nábytek a směsný odpad či odděleně sbíraný odpad z ostatních zdrojů, pokud je povahou a složením podobný odpadu z domácností.(2, 4). Z těchto čísel lze usuzovat, že znatelnou část tohoto objemu odpadů tvořily i obaly od potravin. Ve směsném komunálním odpadu (SKO) jsou započítány obaly produkované spotřebiteli, obaly od surovin použitých na výrobu potravinářských výrobků či nápojů jsou složkou odpadů jednotlivých ekonomických činností. Za rok 2019 byla produkce odpadů na výrobu potravinářských výrobků více než 230 tisíc tun a na výrobu nápojů více než 50 tisíc tun.(2)

Nelegální skládky odpadů mohou mít za následek zničení krajiny, spodních i povrchových vod a také mohou ovlivnit kvalitu ovzduší. Toto může vést ke zhoršení zdravotního stavu populace v oblasti.(5)

Zatím co použití recyklovaného papíru, skla a kovu pro výrobu obalových materiálů je běžné, používání recyklovaného plastu je obtížné a stále na nízké úrovni. Dle Evropské plastické strategie by vedlo používání recyklovaných plastů ke snížení závislosti na fosilních palivech pro výrobu plastů a ke snížení emisí CO₂. Důležitou prioritou zůstávají vysoké bezpečnostní standardy potravinových obalů.(6)

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 CÍLE PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je poskytnout přehled možností separace směsného komunálního odpadu či tříděného odpadu na frakce obsahující podobný materiál, či přímo jednu specifickou látku. Vysvětleny jsou zde základní principy separací a identifikací odpadů. Také zde uvádím některé výrobce těchto zařízení a několik příkladů jejich praktického využití ve světě.

2 PRINCIPY SEPARACE

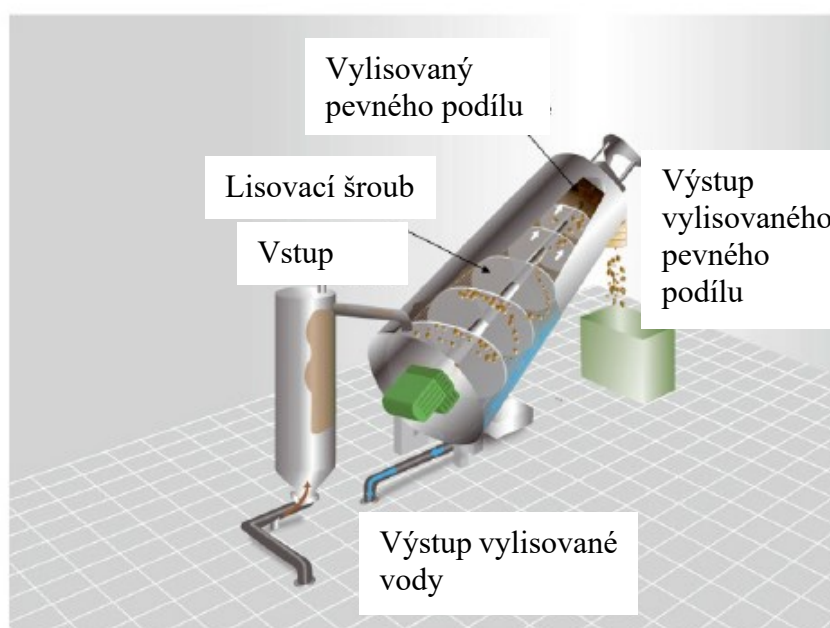
Separace SKO může principiálně probíhat dvěma způsoby – přímo a nepřímo. Podle toho, zda můžeme přímo využít systému identifikace k přesunu látky ze směsi či nikoliv.

2.1 Přímá separace

Přímé třízení využívá vlastností materiálů jako jsou magnetismus, elektrická vodivost či hustota tím, že na látky působí příslušným externím polem – elektrickým, magnetickým či gravitačním. Těmito procesy lze například rozdělit železo a jeho slitiny od neželezných kovů pomocí magnetického pole. Látky s vysokou hustotou lze flotačními metodami oddělit od látek s nižší hustotou. Tyto operace mohou být zařazeny již během přípravy komunálního odpadu k následujícím separacím. Odpad je tak zbaven biomasy nebo magnetických složek, v případě kombinace operací dochází k odseparování obou těchto frakcí. (7)

2.1.1 Šnekový lis

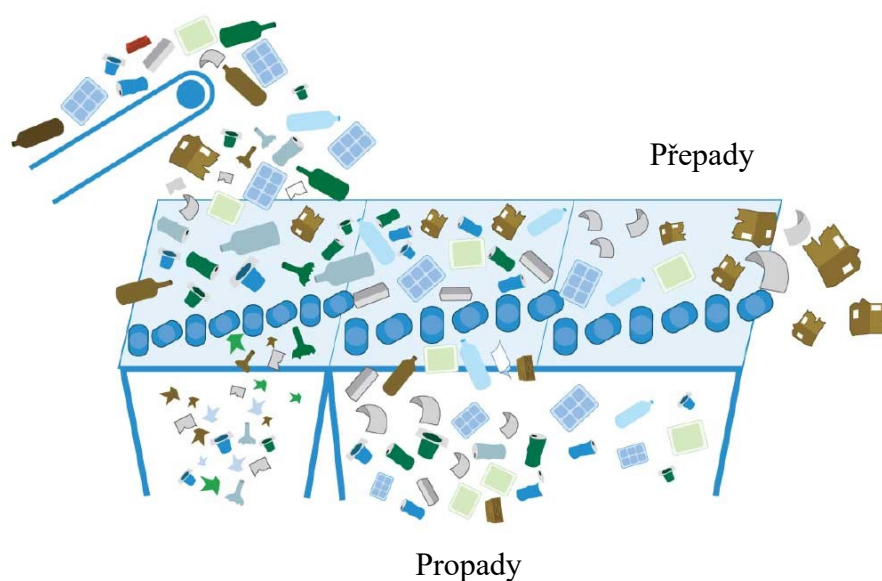
Používá se při přípravě SKO k odstranění biomasy (měkký a vlhký, především organický materiál) od pevné frakce (kovy, plasty, papír a další). Jedná se o perforovanou rouru se šnekovým dopravníkem uvnitř. Skrz otvory v plášti je měkký materiál protlačován z vnitřního prostoru ven, zatímco pevnější materiál putuje skrz až na konec. Tlak lisu určuje poměr, v jakém se rozloží materiál mezi tyto frakce. (8) Není tedy nutný v případě, že odpad neobsahuje biomasu a jedná se pouze o suché frakce.



Obrázek 1 3D schéma šnekového lisu (9)

2.1.2 Kotoučový tříděč

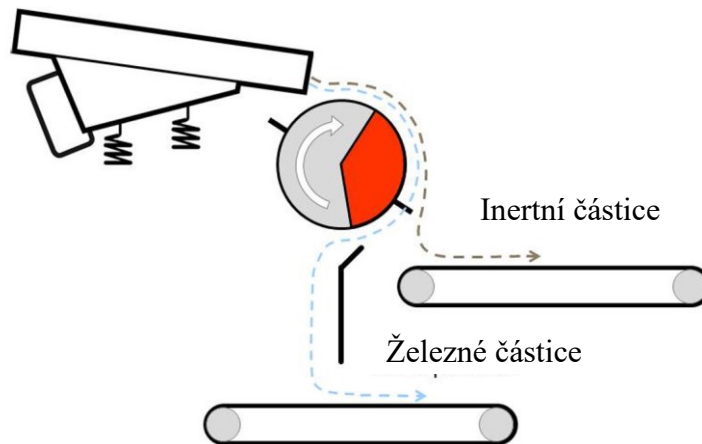
Stejně jako šnekový lis se dá použít k separaci biomasy od pevného podílu. Jedná se o dopravník složený z za sebou řazených kotoučů s definovaným prostorem mezi nimi. Tímto prostorem mohou propadat malé a těžké částice (organická hmota) zatímco velké a lehké částice (papír, plasty) se pohybují po kotoučích dále.(8)



Obrázek 2 Schéma kotoučového tříděče (10)

2.1.3 Magnetický buben

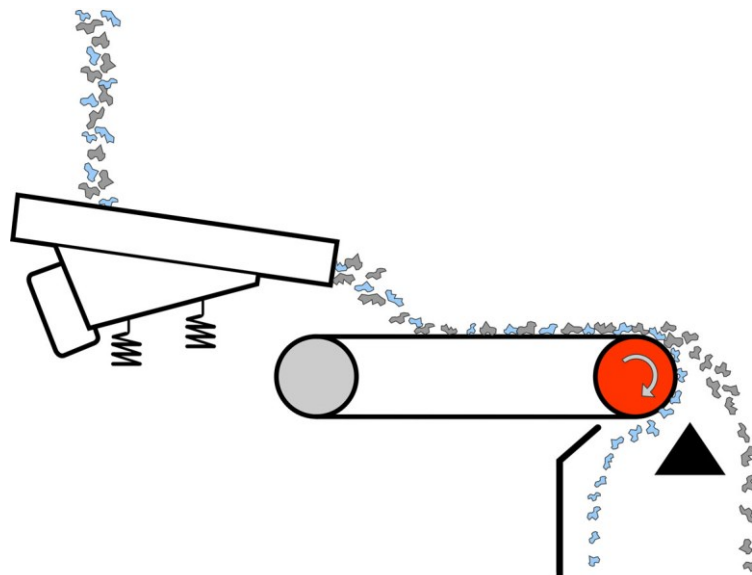
Základní konstrukce magnetických bubnů se skládá ze série permanentních magnetů, které jsou vedle sebe poskládány se střídajícími se polaritami. Tyto magnety jsou stacionárně umístěny v nemagnetickém rotujícím bubnu, kde pokrývají svým efektem oblast o záběru nejčastěji $90^\circ - 120^\circ$. Dříve se používaly feritové magnety dnes i magnety ze vzácných zemin. Lze je využít k odstranění magnetických látek díky tomu, že jejich interakcí s magnetickým polem dojde k jejich separování od nemagnetických látek. Materiál je dopravníkem dopraven k bubnu, který je umístěn za ním. Rotací přesune žebrování bubnu materiál do působivé magnetického pole, které zachytí magnetické částice, zatímco nemagnetické odpadávají z bubnu a pokračují dále. Unášené magnetické částice se od bubnu uvolní poté, co opustí magnetické pole. (7, 11, 12)



Obrázek 3 Schéma magnetického bubnového tříděče (13)

2.1.4 Pásový dopravník s magnetickou kladkou

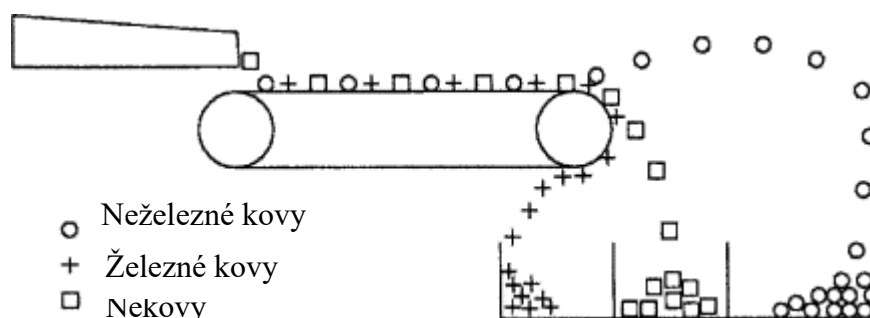
Jedná se o modifikaci pásového dopravníku, kdy poslední kladka, přes kterou materiál prochází je silným magnetem. Zatím co nemagnetický podíl přepadává z dopravníku, je magnetický podíl přitahován na spodní část dopravníku. Po opuštění magnetického pole unášení částice odpadávají na vyhrazené místo. (7, 11, 12)



Obrázek 4 Schéma dopravníku s magnetickou kladkou (14)

2.1.5 Vířivý proud

Při této separaci je pásový dopravník veden přes rychle se otáčející buben tvořený řadami magnetů se střídajícím se magnetickým polem. Před průchodem přes tento separátor je vhodné nejprve oddělit železné kovy. Průchodem materiálu měnícím se magnetickým polem, je v neželezných kovech indukován proud. Tím získá kov i magnetické pole které interaguje s polem otáčejících se magnetů a získají tak větší rychlost. Ostatní materiál tedy padá z pásu přímo dolů, zatím co urychlený materiál putuje po křivce. Mohou takto být odděleny např. měď, hliník a olovo. (7, 15, 16)



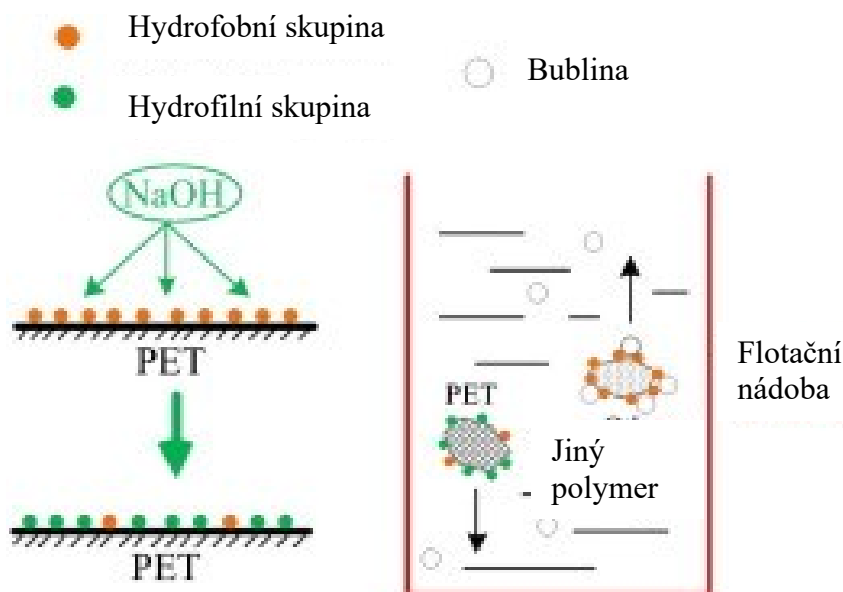
Obrázek 5 Schéma separátoru s využitím vířivého proudu (17)

2.1.6 Flotační separace

Využívá se především k separaci různých polymerních materiálů od sebe. Její základy vycházejí z flotačních separací rud, v obou případech je nutné použití povrchově aktivních látek, či jiných postupů, které selektivně mění vlastnosti flotovaného materiálu. Materiál musí být před flotací rozřezán na částice o velikosti několika milimetrů, přesné rozmezí se odvíjí od použitého zařízení. Principem flotačních metod je vytvořit dostatečně selektivní hydrofobní povrchy, ty jsou při separaci vyžadovány k selektivnímu navázání vzduchové bubliny na povrch částic.(18, 19)

Úprava povrchu plamenem byla testována pro rozdělení směsi PET a PVC, jak nového materiálu, tak materiálu z třídírny odpadů. Bylo zjištěno, že po omytí odpadových materiálů aniontovým detergentem se dosáhlo vlastností podobných novému materiálu. Působením plamenem bylo do povrchu materiálu zaneseno více kyslíku, což vedlo ke zvýšení hydrofilicity.(20, 21)

Působením zahřátého roztoku hydroxidu sodného lze oddělit PET od PVC, ABS, PS, PC. Při této úpravě dochází na povrchu PET k reakci mezi hydroxidem a esterovými vazbami v PET. Rozkladem na tomto místě dochází ke zvýšení počtu hydrofilních skupin (hydroxylové a karboxylové), což má za následek změnu vlastností částice.(18, 22, 23)

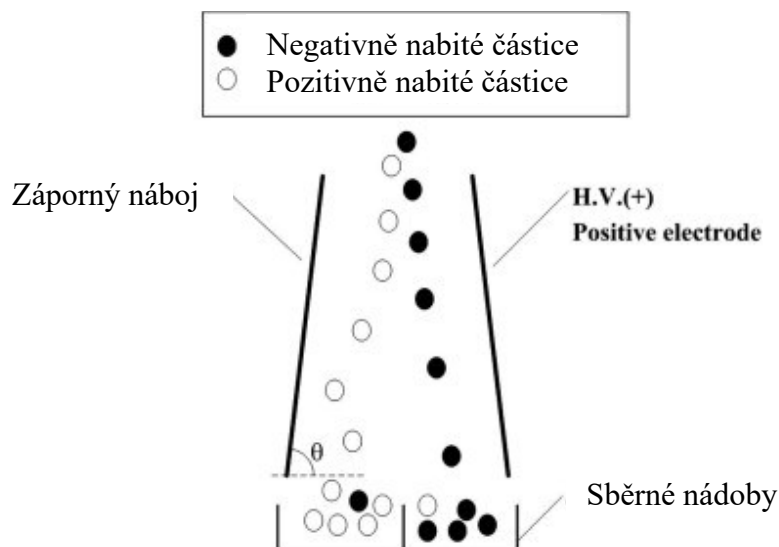


Obrázek 6 Princip oddělení PET ze směsi (22)

Obdobně specifickou reakci mají PC s roztokem amoniaku. Mohou tak být specificky separovány ze směsí polymerů, které s amoniakem nereagují. (18, 24)

2.1.7 Triboelektrický jev

Je jev, při kterém si dva materiály v kontaktu předávají náboj. Tím na jednom z nich vznikne kladný náboj a na druhém záporný o stejné velikosti. (25) Směs opačně nabitých částic je pak vedena do elektrického pole, kde se rozdělí podle své polarity a velikosti náboje. Tento postup je vhodný pro polymery, pro které byly sestaveny triboelektrické řady. (26)

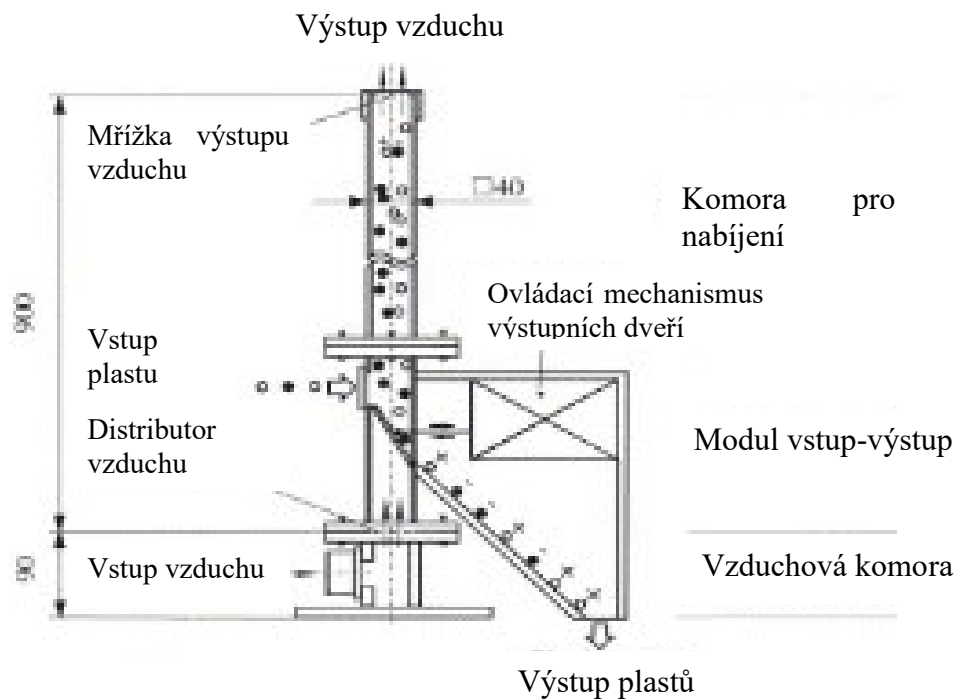


Obrázek 7 Schéma rozdělení nabitých částic při volném pádu (26)

Pro nabití částic existuje mnoho způsobů. Rotující válec, do kterého je kontinuálně přiváděn před připravený materiál, v sobě může mít žebrování, které zlepšuje promíchávání materiálu.

Tím, jak se o sebe vsádka otírá vzniká v ní náboj. Pokud je polymer obtížně nabitelný, může se velikost náboje ovlivnit změnou úhlu sklonu válce nebo jeho prodloužením. Dalším používaným mechanickým způsobem jsou vibrační zařízení, s povrchem, který zvyšuje kontaktní plochu.(27, 28)

Fluidní lože je zařízení, do kterého je ze spodu přes filtr vháněn vzduch, který unáší částice v turbulentním proudu. Při tomto pohybu dochází k třem druhům srážek – srážka dvou stejných částic, srážka dvou různých částic a srážka částice se stěnou. Fluidní lože mohou být různého designu, ale vždy musí docházet k dostatečnému kontaktu pro vytvoření náboje, aby mohlo dojít k separaci.(29, 30) Stejného principu tření částic využívá i cyklonový nabíječ, kde je vzduch vháněn ve vrchní části spolu s materiálem do kónicky tvarovaného zařízení. Dochází zde mnohem větším třením, což zvyšuje účinnost nabíjení částic, ale také snižuje životnost materiálu stěn.(26, 31)



Obrázek 8 Fluidní lože pro nabíjení granulovaných plastů (30)

2.2 Nepřímá separace

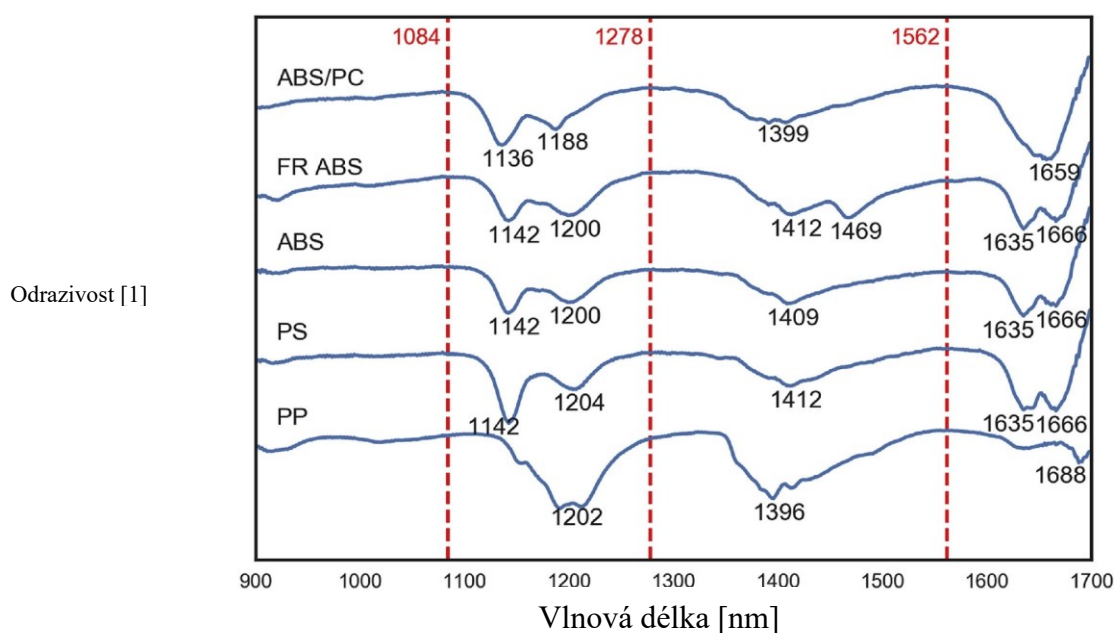
Frakce SKO, či tříděného odpadu mohou být po přímé separaci dále děleny nepřímými metodami, u kterých je separace daného materiálu ze směsi předcházena jeho detekcí a identifikací pomocí senzorů. Ty následně předávají informaci automatickému zařízení či robotu (nejčastěji tryska s vysokotlakým vzduchem), který materiál na základě dodaného impulsu odseparuje.

2.2.1 Metody identifikace

Zde si představíme navrhované metody identifikace materiálů, jejich princip a schéma.

2.2.1.1 Identifikace pomocí blízké infračervené spektroskopie (NIR – z anglického *near-infrared*)

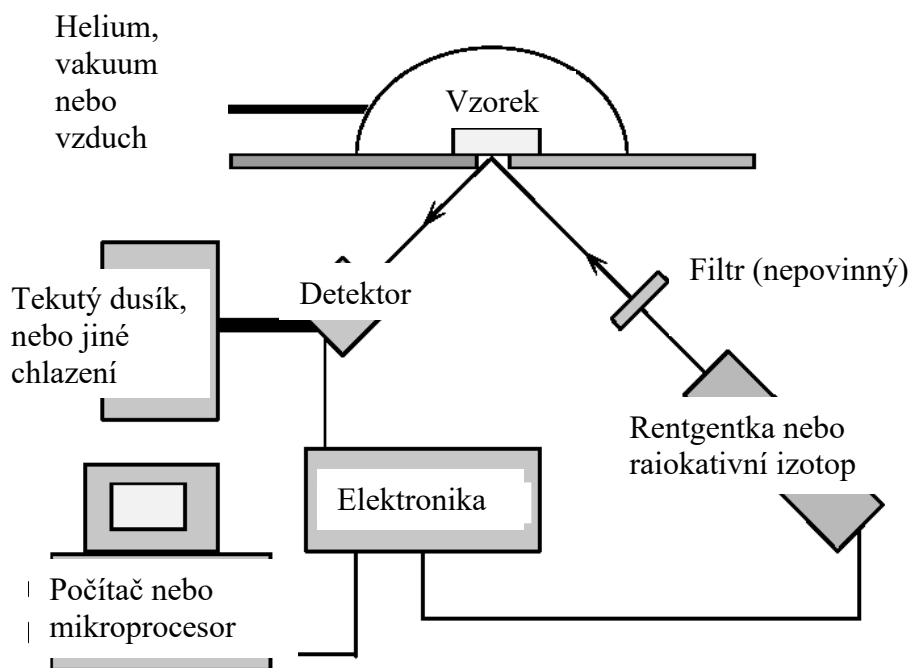
Při této identifikaci se využívá specifické interakce jednotlivých organických látek (polymery, dřevo) s NIR zářením. Jako zdroje záření se využívají halogenové zářivky, které ozařují povrch materiálu. Odražené případně prošlé záření je detekováno a následně softwarově vyhodnoceno v závislosti na specifických absorpčních spektrech. (32–36)



Obrázek 9 Příklady NIR spekter některých polymerů. (32)

2.2.1.2 Identifikace pomocí rentgenové fluorescenční spektroskopie (XRF – z anglického *X-ray fluorescence*)

XRF spektroskopie je založena na principu bombardování vzorku rentgenovým zářením, které má dostatečnou energii pro vytržení elektronu z vnitřních vrstev elektronového obalu atomu (hlavní kvantové číslo 1 nebo 2). Na místo tohoto elektronu se přesouvá elektron z vyšší vrstvy, což je doprovázeno emisí záření, které je specifické pro každý atom nezávisle na matici. Zdrojem takového záření může být rentgenka či radioaktivní izotop prvku vyzařující v této oblasti. (37)



Obrázek 10 Schéma možného seskupení XRF analyzátoru (37)

2.2.1.3 Optická identifikace

Pro laickou veřejnost se jedná o nejběžnější způsob identifikace materiálu, se kterým se mohou v běžném životě setkat. Využívá se totiž mimo jiné při automatizaci výkupu zálohovaných obalů. Principiálně se jedná o kameru spojenou s počítačem, který na základě uložených dat (fotografie materiálů) porovnává, o jakou látku se jedná. Přesnost takovéto identifikace pak závisí na výpočetní síle počítače, jeho databázi či výpočetních modelech. (38–40)

2.2.1.4 Spektroskopie laserem buzeného plazmatu (LIBS – z anglického *Laser-induced breakdown spectroscopy*)

Analytická technika použitelná k detekci a charakterizaci materiálů. Provádí se soustředěním vysoce energetického laserového pulsu na povrch pevné látky či tekutiny. Tímto se uvolní mikroplazma, obsahující excitované molekuly či atomy a vypařené částice. Tyto excitované stavy vyzařují světlo v unikátních vlnových délkách, které je detekováno spektrometricky. Analýza vyžaduje mírnou či žádnou přípravu vzorku a probíhá v reálném čase. (41)



Obrázek 11 Schéma typické laboratorní LIBS sestavy (41)

2.2.2 Identifikace materiálů

Díky využití dříve uvedených fyzikálních principů existuje množství identifikačních zařízení. Ovšem většina těchto zařízení je vyvinuta pouze na jeden typ materiálu. Na druhou stranu existují i zařízení, které lze použít na více materiálu. Jedná se například o optickou identifikaci, kterou je možno identifikovat plasty, sklo, kovy a další materiály. Běžně využívané metody identifikací potravinářských obalových materiálů uvádím níže.

2.2.2.1 Identifikace plastů

Plastové obaly tvořily po papírových a lepenkových obalech v České republice v letech 2017 až 2019 druhou největší položku v odpadové kategorii „obaly (včetně odděleně sbíraného komunálního odpadu)“. (2)

Plastů se však používá mnoho druhů, které je nutno pro jejich další případné využití oddělit od jiných typů. K identifikaci lze použít NIR spektroskopii v rozsahu 824–1700 nm či XRF spektroskopii, pomocí které mohou být identifikované příměsi polymerů. (35, 37)

2.2.2.2 Identifikace skla

Při identifikaci skla se využívá optická identifikace kamerami, která může být doplněna údaji z váhy či dokonce zvuku dopadu materiálu, který je zachycen mikrofonom. Kombinace těchto dat je pak vyhodnocována pomocí umělých neuronových sítí. (42)

2.2.2.3 Identifikace kovů

Kovy můžeme identifikovat podle jejich magnetických vlastností, podle spektra z rentgenové fluorescenční spektroskopie, či v případě odpadní elektroniky pomocí LIBS. Také pro jejich identifikaci lze použít stejného principu jako u skleněných materiálů.(7, 42, 43)

3 VYUŽITÍ VÝPOČETNÍ TECHNIKY

Umělá inteligence je počítačová věda pro nalézání vzorů a vytváření predikcí z dat založená na statistice, rozpoznávání vzorů, data miningu a prediktivní analýze. (44)

3.1 Umělá neuronová síť

Standardní umělá neuronová síť se skládá z mnoho jednoduchých propojených procesorů, nazývaných neurony. Vstupní neurony jsou aktivovány na základě dat ze senzorů, které vnímají prostředí. Jiné neurony se aktivují skrze vážené propojení s dříve aktivovanými neurony. Další neurony mohou ovlivňovat jejich akcí prostředí. Učení takového systému je pak hledání propojení, které způsobuje, že síť vykazuje požadované chování. Podle hloubky a způsobu zacházení s daty se třídí do mnoha kategorií. (45)

3.1.1 Příklady modelů

3.1.1.1 VGG-16 model

Jedná se o předcvičenou neuronovou síť, která byla cvičena na zhruba 1,2 milionech obrázků z databáze ImageNet.(46) Model má 16 vrstev a umí třídit obrázky do tisíce kategorií. Jeho vývojáři vyvinuli přesnější architekturu, s kterou dosáhli vyšší přesnosti v klasifikaci a lokalizaci.(46, 47)

3.1.1.2 AlexNet

Je také neuronová síť, která byla cvičena na ImageNet. Varianta tohoto modelu se v roce 2012 účastnila soutěže ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge, kde zvítězila v kategorii top-5 test s chybovostí 15,3 %. Pro porovnání druhý nejlepší model měl chybovost 26,2 %. (48)

3.2 Strojové učení

Strojové učení je proces vývoje, analýzy a implementace vedoucí k zavedení systematického procesu. Počítač je díky tomuto schopný nalézt odpovědi na komplikované úlohy. Tím, jak jsou modely opakovaně vystavovány novým datům, jsou schopny se samostatně adaptovat. Učí se z předchozích výpočtů produkovat spolehlivé a opakovatelné výsledky či rozhodnutí.(44, 49)

3.2.1 Příklady modelů

3.2.1.1 *Support Vector Machine*

Je algoritmus strojového učení s učitelem, který může být použit pro klasifikace či regresi. Podstatou je hledání nadroviny, která rozdělí data na do dvou tříd (podpůrných vektorů). (47, 50)

3.2.1.2 *K-Nearest Neighbor*

Je jedním z prvních klasifikátorů s učitelem. Jednodušší podobou algoritmu je předpovídání označení cíle tím, že nachází nejbližší sousedící kategorie. Nejbližší z nich je pak identifikována Euklidovskou metrikou. (47, 51)

3.2.1.3 *Random Forest*

Jedná se o klasifikátor s učitelem který využívá velkého množství rozhodovacích stromů v náhodně vybraném podprostoru dimenze. Obecně, čím více je v algoritmu stromů, tím je robustnější a jeho výsledky přesnější. (47, 52)

3.3 Datasetsy

Pro učení a testování neuronových sítí byly výzkumníky vytvořené datasetsy, které se skládají z mnoha stovek až tisíců fotek odpadu, podle kterých se pak může daná síť rozhodovat o zařazení odpadu. Často používaným datasetem pro výzkum je TrashNet vytvořen Mindy Yang a Gary Thungem ze Standfordské Univerzity.

3.4 Navrhované a zkoumané systémy

Data z NIR spektrometru podrobené analýze hlavních komponent s metodou podpůrných vektorů byla Zhu et al. využita k vytvoření systému identifikace PP, PS, PE, PMMA, ABS a PET s 97,5% přesností. Pouze u spektra PE došlo k chybné identifikaci u 3 z 20 testovaných vzorků. Toto bylo způsobeno podobností spektra PE se spektrem PP. Kromě rozpoznání materiálu lze touto metodou i hrubě odhadnout tvar vzorku. (53)

Úspěšný v laboratorních podmínkách byl také výzkum Funch et al. který byl zaměřen na detekci kovu a skla v pytlech s odpadem. Jejich cílem bylo navrhnout systém, který by již při vyprazdňování popelnic do popelářského vozu rozpoznání, že se v odpadu tyto dva

materiály vyskytují. Pomocí tohoto je možné vytipovat lokality, ve kterých není dostatečná míra třídění odpadu. Systém, detekce byl založen na improvizovaném detektoru kovu z drátu, kamery, dvou kontaktních mikrofonů a dvou kondenzátorových mikrofonů. Během testování bylo zjištěno, že model se 100 % přesností zjišťuje přítomnost kovu, sklo bylo chybně označeno jako přítomné i nepřítomné s vyšší tendencí k nepřítomnosti. Celková přesnost modelu byla spočítána na 89 %. (42)

Costa et al. se ve svém výzkumu zaměřili na použití různých typů neuronových sítí pro třídění plastu, skla, papíru a kovu pomocí digitální kamery. Jako zdrojová databáze obrázků byl použit TrashNet. Zkoumané modely byly tyto: VGG-16 model, AlexNet, Support Vector Machine, K-Nearest Neighbor a Random Forest. Výpočetní simulací zjistili, že umělé neuronové sítě mají vykazovaly větší přesnost než přístup strojového učení. Model VGG-16 měl přesnost 93,0 %, zatím co nepřesnější z strojových metod (K-Nearest Neighbor) měla přesnost 88,0 %. I v této studii byl zjištěn problém s přesnou detekcí skla. (47)

4 TECHNOLOGIE DOSTUPNÉ NA TRHU

Na trhu existuje velké množství výrobců, ať už jednotlivých třídičů, či dodavatelů celých systémů. V této kapitole si představíme vybrané výrobce dříve zmíněných separačních a identifikačních systémů.

4.1 Šnekové lisy

Pro odstranění vody a oddělení organické frakce SKO od anorganické je vhodný například AKUPRESS AS od německé firmy BELLMER GmbH, či AGSP Screw Press čínské Guangzhou LIDA Engineering Machinery CO, LTD. Oba výrobci dodávají tyto lisy s rozměry šneku 250, 315, 500, 630(čínský) / 625(německý) a 800 mm. Čínský výrobce však nabízí i další rozměry a to 120, 180 a 400 mm.(54, 55)



Obrázek 12 AGSP Screw Press (55)

4.2 Kotoučové třídiče

Třídiče využívané na začátku procesu pro rozbití skla a rozdělení materiálu dle velikosti a případně hustoty. Na trh je dodávají mimo jiné tyto společnosti: Bulk Handling Systems – Spojené státy americké, Dezhou Qunfeng Machinery Manufacturing Co., Ltd – Čína či Ecostar Srl – Itálie.(56–59)

Bulk Handling Systems dodává zařízení Debris Roll Screen®, které místo kotoučů využívá patentovaný systém trojúhelníků s konstantní šířkou, tento tvar je známý jako Reuleauxův trojúhelník. Ty jsou na hřídelích posazeny tak, aby mezi trojúhelníky sousedních hřídelí byl

udržován otvor o konstantní velikosti. Parametry zařízení jsou přizpůsobitelné aplikaci. Zařízení může být doplněno o Glass Breaker DRS®. Které je vybaveno doplňky uzpůsobené k rozbíjení skla a jeho separaci. (56, 59, 60)



Obrázek 13 Debris Roll Screen® - lze zde vidět do sebe zapadající výstupky z vedlejších hřídelí (56)

Čínská společnost Dezhou Qunfeng Machinery Manufacturing Co., Ltd dodává svůj kotoučový třidič s disky různých tvarů, včetně pentagonů, hexagonů či hvězdic, dle požadavku zákazníka. Třidič je vybaven dmychadlem pro odstranění případných výparů. Stejně jako předchozí dodavatel nabízejí přizpůsobitelné parametry zařízení. Nejvýkonnější z doporučených modelů má maximální průchod 70 tun materiálu za hodinu. (57)

HEXACT Italské společnosti Ecostar Srl je modulární zařízení ze dvou základních jednotek HAXACT 2000 a HEXACT 3000. Tyto jednotky mají stejnou výšku, šířku, pohon a rozlišovací schopnosti, liší se pouze svou délkou, a to 2000 mm u modelu HEXACT 2000, respektive 3000 mm u druhého modelu. Jejich kombinací si lze nakonfigurovat systém až do maximální délky 10000 mm. Zařízení se také chlubí možností měnit v reálném čase přednastavené velikosti propadu o $\pm 30\%$, tím, že se změní rychlost otáčení hřídelí. Hexagonální či oktogonální kotouče způsobují, že se při pohybu skrze zařízení materiál

nadskakuje, což napomáhá separaci. Maximální průchod zařízením je 200 tun za hodinu.(58, 61)



Obrázek 14 Pohled na zařízení HEXAT bez pláště z boku (58)

4.3 Magnetická zařízení

Bubnové magnetické separátory vyrábí například česká společnost EPA a.s. a nizozemská společnost Goudsmit Magnetic Supplies B.V.(13, 62, 63)

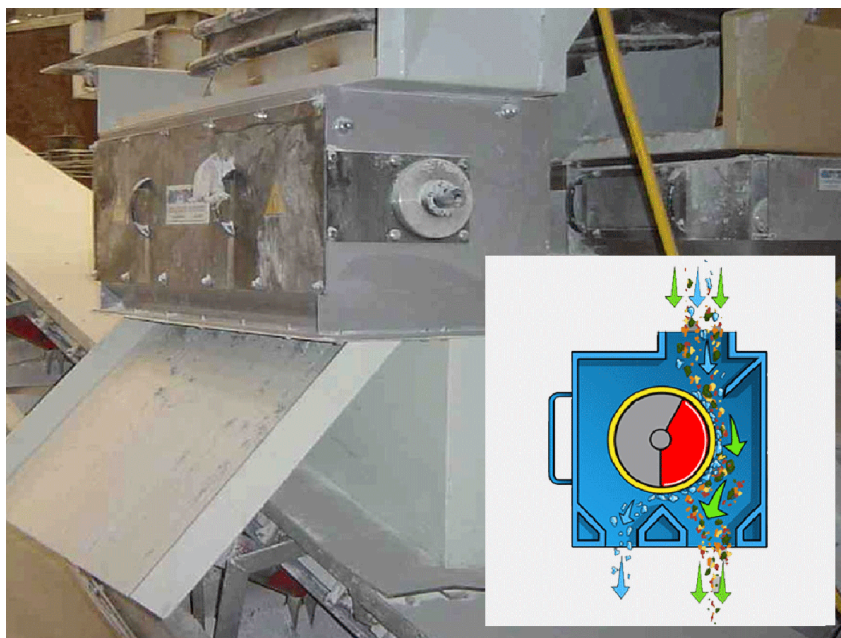
Český výrobce dodává separátor s magnety z feritových materiálů nebo ze vzácných zemin. Separátory jsou vyráběny dle požadavků zákazníka, maximální výkon je však omezen na 15 tun za hodinu.(62)



Obrázek 15 Bubnový magnetický separátor BMS-600 EPA a.s.(62)

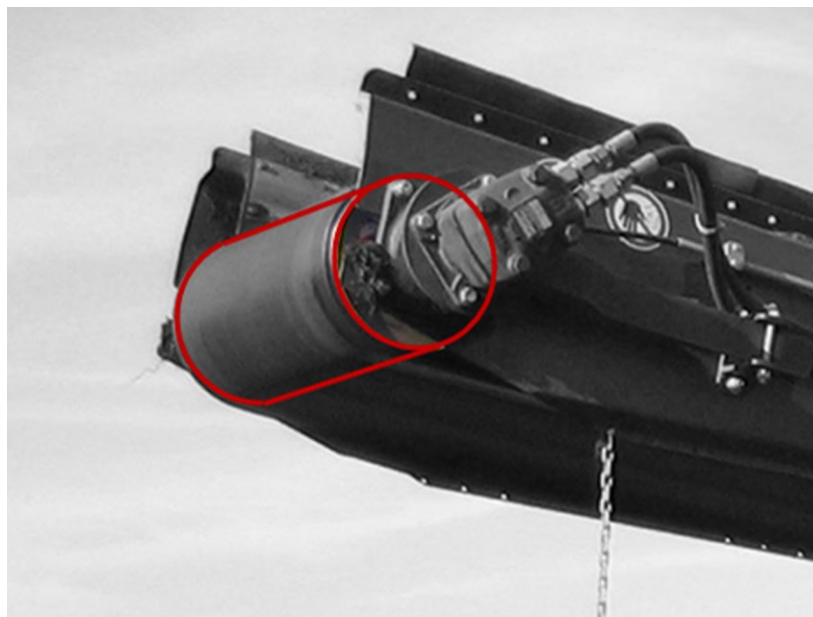
Goudsmit Magnetic Supplies B.V. vyrábí samostatné bubnové třídíče, které si zákazník může vložit do svého procesu nebo opláštěné třídíče, které se dodávají společně s pohonem

a nastavitelnou oddělovací přepážkou. Samostatné třídiče firma nabízí v několika šířkách a s čtyřmi typy magnetu. Typ F s feritovým magnetem, který je vhodný pro separaci feromagnetických látek o velikosti 2 – 100 mm. Typ B, který má silnější magnetické pole, díky použití neodymových magnetů a je tedy schopen zachytit částice ve frakci 0,5 – 100 mm. Typ P je také z neodymových magnetů, ale jeho magnetické pole má dostatečnou sílu pro odstranění jemných částic železa ($>0,1$ mm) a slabě magnetických látek jako nerezovou ocel a další ocelové slitiny od velikosti 0,5 mm. Posledním nabízeným typem je Typ H s nejvyšší intenzitou magnetického pole, ale s nejnižším dosahem pole. Není zamýšleno pro separaci feromagnetického materiálu ale spíše pro separaci slabě magnetických látek. Opláštěné třídiče dodává v 10 rozměrech s magnetickým polem, které dokáže odstranit železné kontaminanty v rozmezí 1 – 5 mm.(13, 63)



Obrázek 16 Bubnový separátor od Goudsmit Magnetic Supplies B.V. včetně schématu funkce(63)

Goudsmit Magnetic Supplies B.V. vyrábí také magnetické kladky, které stejně jako bubnové třídiče prodává jako samostatné součástky či přímo hotový dopravník s touto kladkou v různých operativních šířkách a intenzitách magnetického pole.(14, 64, 65). Jedním z konkurentů v této oblasti je německá společnost STEINERT GmbH. Tato společnost také dodává samostatné kladky pod obchodním názvem STEINERT BR a dopravník pod názvem STEINERT MSB, který obsahuje dříve zmíněnou kladku. Dle požadavku na získaný materiál dodávají kladku s feritovými, neodymovými či elektromagnety.(66–68)



Obrázek 17 Příklad umístění magnetické klady (65)

Všichni tito tři výrobci dodávají také separátory na bázi vířivých proudů. Německý výrobce nabízí čtyři modely pro různé použití, z nich je pro téma této práce nejzajímavější STEINERT CanMaster®, který je optimalizován pro získávání hliníku z odpadu spotřebitelských obalů. Dodáván je v operačních šířkách 1000 a 1500 mm. (69, 70) EPA a.s. vyrábí své separátory neželezných kovů s feritovými magnety či s magnety ze vzácných zemin. Obě varianty magnetů jsou prodávány ve třech operačních šířkách, a to 200, 500 a 940 mm. Kromě separátoru nabízejí pro všechny modely i dodávku kompletní linky.(71) EddyXpert je řada separátorů výrobce Goudsmit Magnetic Supplies B.V. s dvanácti nebo dvaadvaceti pólovým válcem. Dodávány jsou v šířkách 800 a 1500 mm pro 12 pólovou verzi, verze s 22 póly je nabízena v operačních šířkách 600, 800, 1000, 1500 a 2000 mm. Kromě nejširšího provedení, lze objednat 22 pólové verze s předstupněm s bubnovým magnetickým separátorem.(72)



Obrázek 18 STEINERT CanMaster® používaný pro odstranění neželezných kovů z obalových odpadů (70)

4.4 Triboelektrické separátory

Tyto zařízení dodává na trh například ukrajinská společnost SMF “Prodecologia“ jako typ EBS-T. Jejich výrobek je vhodný pro separaci při okolních teplotě 5 – 40 °C s maximální vlhkostí 40%. Vstupující polymery nesmějí mít vlhkost větší než 0,5%. Z obalových materiálů od sebe dokáže oddělit PET a PE či PP a PE. (73)



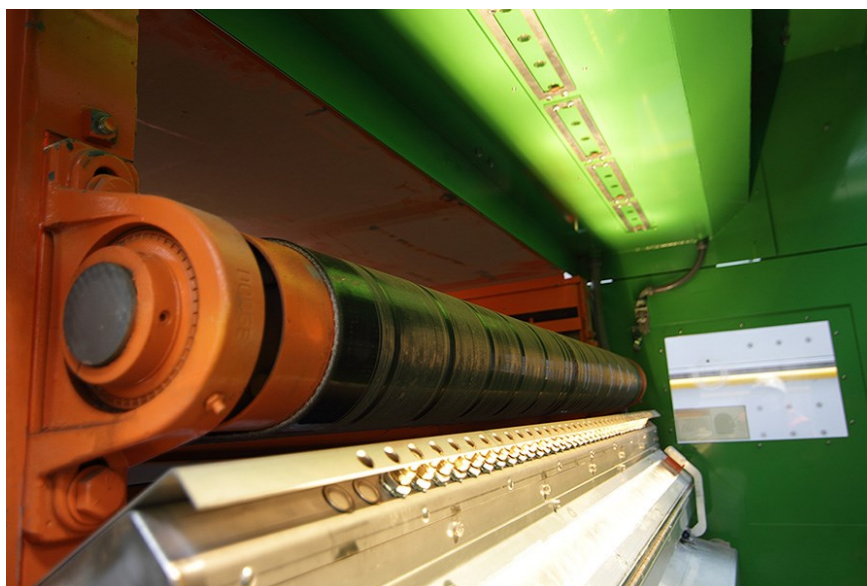
Obrázek 19 Rendrovaný 3D model EBS-T(73)

4.5 Zařízení pro separaci pomocí NIR

Americká firma NATIONAL RECOVERY TECHNOLOGIES, LLC dodává na trh dvě zařízení z řady SpydIR®. Obě zařízení detekují, analyzují a vyřazují materiál po té, co opustí pásový dopravník. Tato skutečnost umožňuje transmisivní detekci a eliminuje chybné třídění způsobené pohybem po dopravníku. Zařízení jsou schopna zvládat identifikovat více než 7 tun materiálu za hodinu. SpydIR®-R k identifikaci využívá odražených paprsků, zatím co SpydIR®-T využívá světlo, které projde materiálem.(74–76)



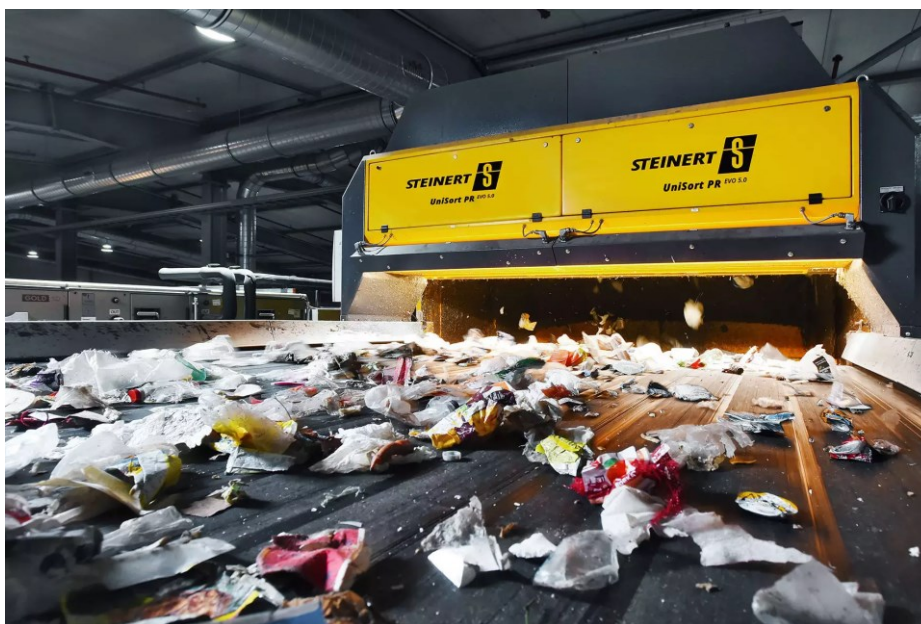
Obrázek 20 SpydIR®-R v provozu (74)



Obrázek 21 Pohled na vzduchové trysky SpydIR®-T(75)

UniSort PR EVO 5.0, společnosti STEINERT GmbH, využívá pro detekci NIR spekter hyperspektrální kameru, která může být doplněna o optické kamery. Při využití proprietárního softwaru je pak možné docílit rozdělení PET lahví a PET tácků.

Kombinovaný systém NIR a viditelného spektra umožňuje třídít i podle barev. Tento model byl testován od roku 2018. (77)



Obrázek 22 UniSort PR EVO 5.0 v provozu (77)

Německý výrobce Sesotec GmbH uvedl v roce 2020 na trh model Varisort+, který zvládá objem materiál až 8 tun za hodinu a je schopen detekovat a separovat plasty dle typu, barvy a tvaru, kovy a cizí předměty. K tomuto využívá kombinaci až tří senzorů – NIR, optický (barva a tvar) a detektor kovu. Volitelná je také varianta, kdy je možno třídít materiál na tři proudy. Systém je vhodný pro dopravníkové pásy o šířkách 1024, 1536, 1920 nebo 2816 mm.(78)



Obrázek 23 Rendrovaný 3D model Varisort+(78)

4.6 Zařízení pro detekci pomocí XRF

Norská společnost TOMRA Sorting Solutions AS nabízí produkt X-TRACT který je vhodný například k získání železných a neželezných kovů či hliníkových slitin. Dodávaný je ve dvou operačních šířkách a to 1200 a 2400 mm. Díky softwarové výbavě je možné pozorovat informace o třízení a procesní data v reálném čase.(79)

4.7 Optická zařízení

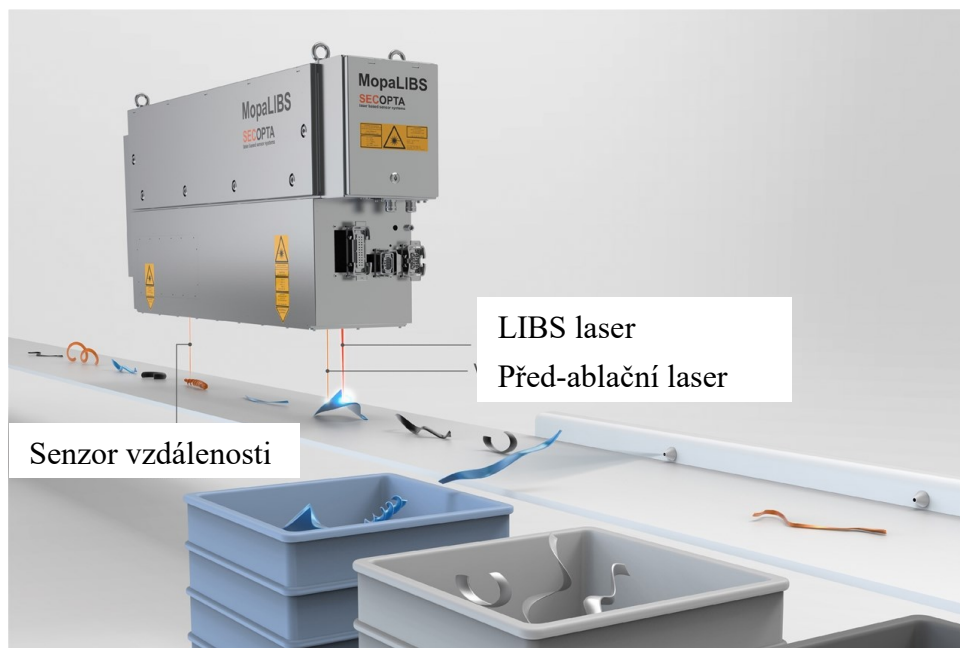
Kromě využití optických detektorů společně s NIR detektory jsou dostupné i samostatně například jako zařízení zpětného odběru obalů. Ty na trh dodává mimo jiné společnost TOMRA v 5 produktových liniích dle očekávaného objemu recyklovaných obalů. Výrobky jsou také třízené dle toho, zda mají být určeny pro znovupoužitelné obaly, jednorázové obaly, či pro oba typy najednou.(80, 81)



Obrázek 24 TOMRA H10 nebo H11 pro zpětný odběr obalů. (82)

4.8 Zařízení pro detekci pomocí LIBS

MopaLIBS je zařízení německé společnosti SECOPTA analytics GmbH, které díky svému výkonnému laseru dokáže analyzovat i barvené, oxidované či jinak znečištěné materiály. Mimo jiné je vhodný pro třízení hliníku či nerezové oceli. (83)



Obrázek 25 Rendrovaný 3D model použití MopaLIBS (83)

5 SOUČASNÉ INSTALACE

Zde bych rád představil několik příkladů využití těchto technologií v praxi.

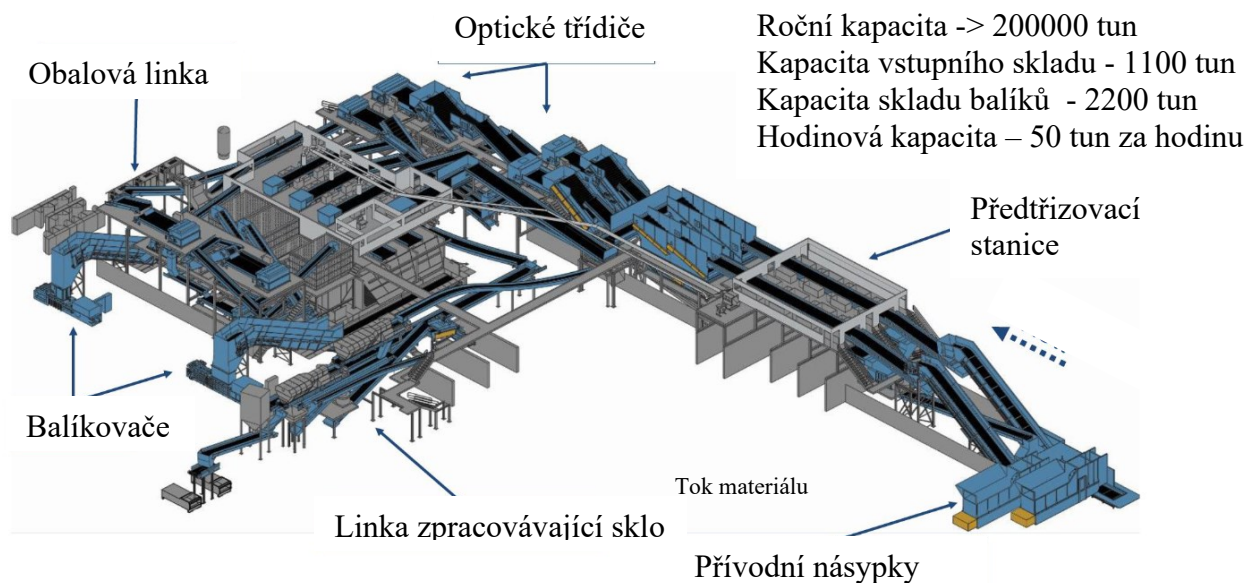
5.1 Perth material recovery facility

Perth material recovery facility je zařízení pro zpětné získání materiálu provozované firmou Cleanaway Waste Management Limited v Perth, hlavním městě Západní Austrálie. Pro vybudování tohoto zařízení byla kontraktována firma Emerging Acquisitions, LLC pod obchodní značkou Bulk Handling Systems. Při dokončení v květnu roku 2017 bylo označováno za nejpokročilejší recyklační zařízení na jižní polokouli. Dimenzováno bylo na průtok 50 tun odpadu za hodinu. Za rok by zařízením mělo projít 200 až 250 tisíc tun smíšených recyklovatelných látek (průmyslových i komunálních). (84–87)



Obrázek 26 Panoramatický snímek vnitřního prostoru Perth material recovery facility (87)

Zařízení je složeno z otevírače pytlů, dvou kotoučových třídíčů, které rozbijí a odstraní sklo(56), které tvoří v Austrálii velký podíl odpadu. Sklo je dále čištěno dvěma jedno válcovými separátory od firmy Nihot Recycling Technology B.V.(88). Dva optické třídíče ColorPlus™-R(89), které analyzují barvu, opacitu a transparentnost, a šest optických třídíčů polymerů SpydIR®(74, 75) instalovaných v zařízení je od firmy NATIONAL RECOVERY TECHNOLOGIES, LLC. Dále jsou zařazeny magnetické separátory pro odstranění oceli a separátor s vířivým vlněním, který odděluje hliník na dopravníkový pás.(84–86)



Obrázek 27 Schéma toku a kapacity Perth material recovery facility (90)

Výstupem je 8 typů recyklovatelných surovin – novinový papír, smíšený papír, karton, sklo, hliník, ocel, HDPE a PET. Suroviny jsou, kromě skla, které je rozdrveno, linkou baleny do balíků, které firma prodává výrobcům, či zpracovatelům těchto surovin. Provozovatel uvádí standardní hodnoty získání plastových obalů více než 97 % a jejich čistotu více než 98,5 %. (84–86)

V listopadu roku 2019 bylo zařízení zasaženo požárem a zatím nebylo znovu otevřeno. (85, 91)

5.2 Lea Riverside

Lea Riverside společnosti Bywaters v Londýně je zařízení pro zpětné získání materiálu, zařízení na recyklaci sádkartonu a likvidaci důvěrných dokumentů. Je největší zastřešenou třídírnou v Londýně. Třídění směsného odpadu na jednotlivé druhy, jejich balíkování a odeslání na recyklaci je podporováno čtyřmi tisíci solárními panely na střeše budovy. Pro třídění materiálu zde využívají válcové separátory, NIR optické senzory, magnety, vířivý proud a vzdušné tunely. Výstupními skupinami jsou sklo, karton a další suché recyklovatelné suroviny. Tyto se následně balíkovají a zasílají na recyklaci. (92, 93) Ročně se zde dohromady na všech linkách zpracuje 650 000 tun odpadu. (94)

Tok materiálu tímto zařízením začíná příjmem materiálu, který se nejprve ručně zbaví neakceptovatelného odpadu – mimo jiné zbytky jídla, elektronika. Následují mechanické procesy na specializovaných diskových třídících, které nejprve odstraní kartony a následně 2D (papír, plastové sáčky) od 3D odpadu (plastové a kovové obaly). Oddělený 2D materiál

prochází optickým třídičem, který stlačeným vzduchem odstraní plastové sáčky od papíru, který je následně ručně dotřížován. 3D materiál prochází sérií tří NIR zařízení, které postupně odstraňují typy plastů. Dále elektromagnet odstraní železné kovy a pomocí vířivých proudů se získají neželezné kovy. Jednotlivé výstupy jsou na konci jejich získávání balíkovány.(95)



Obrázek 28 Pohled do vnitřního prostoru Lea Riverside (92)

ZÁVĚR

V úvodu byla uvedena množství vyprodukovaného odpadu v České republice a vysvětleno, proč je ze společenského, ekologického a energetického hlediska třídění potravinářských obalů a dalších odpadů důležité a jak pomáhá pro udržitelnost našeho stylu života.

Ze začátku teoretické části této práce byly popsány postupy separace obalů obsahujících obaly od potravin na základě jejich vlastností, které bylo možné využít k jejich separaci. Jednalo se o vlastnosti magnetické, elektrostatické, deformační a o hustotu.

V další kapitole byly uvedeny metody, kterými lze detekovat a identifikovat materiál, který se pohybuje na pásovém dopravníku, pomocí jeho vzhledu či interakce s elektromagnetickým zářením.

Využití výpočetní techniky bylo předmětem následující kapitoly. Byly zde předvedeny některé z umělých neuronových sítí a algoritmů strojového učení, které byly ve výzkumu použity k analýzy dat z identifikačních metod.

Následující dvě kapitoly byly krátkým přehledem některých dodavatelů technologií pro separaci a identifikaci složek odpadu a dvou zařízení pro zpětné získání materiálu.

Z rešerše vyplývá, že je tato oblast technologie stále předmětem výzkumu a vývoje nových technologií. Nová zařízení se dostávají na trh, či jsou stávající zařízení optimalizována na základě zkušeností z oboru. Je také pozorovatelné, že výpočetní vědy se touto oblastí zajímají a uplatňují zde poznatky z jiných výzkumů.

Výrobci separačních a identifikačních zařízení jsem při rešerši objevil spoustu, ale nebyl jsem schopen zahrnout je zde všechny a objektivně zhodnotit.

Jako pozitivní vidím u zařízení jejich modulárnost a možnost sestavení linky přesně dle vstupujících materiálů. A to ze zařízení od různých světových výrobců.

Myslím si, že by tato práce mohla být podkladem pro další práce, které by rozšířily oblast i na odpady z jiných odvětví. Či jako základní zdroj informací zájemců o tyto technologie.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. GRACE COMMUNICATIONS FOUNDATION. *The Environmental Impact of Food Packaging* [online]. [vid. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://foodprint.org/issues/the-environmental-impact-of-food-packaging/>
2. ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *PRODUKCE, VYUŽITÍ A ODSTRANĚNÍ ODPADŮ za období 2019* [online]. 2021. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/123243248/28002020.pdf/2b10e665-7aac-4baf-9ff9-d097203573c1?version=1.3>
3. ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Česko v roce 2019 vyprodukovalo 37 mil. tun odpadu* [online]. 2021 [vid. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/cesko-v-roce-2019-vyprodukovalo-37-mil-tun-odpadu>
4. EVROPSKÁ UNIE. *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2008/98/ES ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic* [online]. 2018. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:02008L0098-20180705&from=EN>
5. TRIASSI, Maria, Rossella ALFANO, Maddalena ILLARIO, Antonio NARDONE, Oreste CAPORALE a Paolo MONTUORI. Environmental pollution from illegal waste disposal and health effects: A review on the “triangle of death”. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. 2015, **12**(2), 1216–1236. ISSN 16604601. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph120201216
6. EESC. *Recycling food packaging & food waste in plastics revolution*. 2020. ISBN 9789283048824.
7. GUNDUPALLI, Sathish Paulraj, Subrata HAIT a Atul THAKUR. A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling. *Waste Management* [online]. 2017, **60**, 56–74. ISSN 18792456. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2016.09.015
8. HANSEN, Trine Lund, Jes la Cour JANSEN, Åsa DAVIDSSON a Thomas Højlund CHRISTENSEN. Effects of pre-treatment technologies on quantity and quality of source-sorted municipal organic waste for biogas recovery. *Waste Management* [online]. 2007, **27**(3), 398–405. ISSN 0956053X. Dostupné

- z: doi:10.1016/j.wasman.2006.02.014
9. HJORTH, Maibritt, K. V. CHRISTENSEN, M. L. CHRISTENSEN a Sven G. SOMMER. Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. *Sustainable Agriculture* [online]. 2009, **2**, 953–986. Dostupné z: doi:10.1007/978-94-007-0394-0_43
 10. CP GROUP. *Disc Screen Separation* [online]. [vid. 2021-05-18]. Dostupné z: <https://www.cpgrp.com/disc-screen-separation/>
 11. SVOBODA, Jan. *Magnetic Techniques for the Treatment of Materials*. B.m.: Springer Science & Business Media, 2007. ISBN 9781402021077.
 12. SVOBODA, J. a T. FUJITA. Recent developments in magnetic methods of material separation. *Minerals Engineering* [online]. 2003, **16**(9), 785–792. ISSN 08926875. Dostupné z: doi:10.1016/S0892-6875(03)00212-7
 13. GOUDSMIT MAGNETIC SUPPLIES B.V. *Add-on magnetic drum separators* [online]. 2020 [vid. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.goudsmitmagnets.com/solutions/magnetic-recycling-sorting/magnetic-drum-separators-recycling/add-on.html>
 14. GOUDSMIT MAGNETIC SUPPLIES B.V. *High-gradient magnetic head pulleys* [online]. [vid. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.goudsmitmagnets.com/solutions/magnetic-recycling-sorting/magnetic-head-pulleys/high-gradient-systems.html>
 15. KRIVTSOVA, G. B., A. N. PIMENOV a V. V. PETUKHOV. Electromagnetic separation of nonferrous metals before a metallurgical conversion in a field of high-frequency current. *Metallurgist* [online]. 2009, **53**(7–8), 524–530. ISSN 00260894. Dostupné z: doi:10.1007/s11015-009-9192-6
 16. REM, P C, E M BEUNDER a A J Van Den AKKER. Simulation of Eddy-Current Separators. 1998, **34**(4), 2280–2286.
 17. RAO, Ramachandra. Chapter 3 Physical and physico-chemical processes. In: *Waste Management Series* [online]. B.m.: Elsevier Ltd, 2006, s. 35–69. ISSN 14787482. Dostupné z: doi:10.1016/S0713-2743(06)80088-7
 18. FRAUNHOLCZ, N. Separation of waste plastics by froth flotation - A review, part I. *Minerals Engineering* [online]. 2004, **17**(2), 261–268. ISSN 08926875. Dostupné

- z: doi:10.1016/j.mineng.2003.10.028
19. WANG, Chong qing, Hui WANG, Jian gang FU a You nian LIU. Flotation separation of waste plastics for recycling-A review. *Waste Management* [online]. 2015, **41**, 28–38. ISSN 18792456. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2015.03.027
 20. PASCOE, R. D. a B. O'CONNELL. Development of a method for separation of PVC and PET using flame treatment and flotation. *Minerals Engineering* [online]. 2003, **16**(11), 1205–1212. ISSN 08926875. Dostupné z: doi:10.1016/S0892-6875(03)00171-7
 21. PASCOE, R. D. a B. O'CONNELL. Flame treatment for the selective wetting and separation of PVC and PET. *Waste Management* [online]. 2003, **23**(9), 845–850. ISSN 0956053X. Dostupné z: doi:10.1016/S0956-053X(03)00026-6
 22. WANG, Chong Qing, Hui WANG a You Nian LIU. Separation of polyethylene terephthalate from municipal waste plastics by froth flotation for recycling industry. *Waste Management* [online]. 2015, **35**, 42–47. ISSN 18792456. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2014.09.025
 23. BURAT, Firat, Ali GÜNEY a M. OLGAC KANGAL. Selective separation of virgin and post-consumer polymers (PET and PVC) by flotation method. *Waste Management* [online]. 2009, **29**(6), 1807–1813. ISSN 0956053X. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2008.12.018
 24. WANG, Chong qing, Hui WANG, Qun LIU, Jian gang FU a You nian LIU. Separation of polycarbonate and acrylonitrile-butadiene-styrene waste plastics by froth flotation combined with ammonia pretreatment. *Waste Management* [online]. 2014, **34**(12), 2656–2661. ISSN 18792456. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2014.09.002
 25. XU, Cheng, Yunlong ZI, Aurelia Chi WANG, Haiyang ZOU, Yejing DAI, Xu HE, Peihong WANG, Yi Cheng WANG, Peizhong FENG, Dawei LI a Zhong Lin WANG. On the Electron-Transfer Mechanism in the Contact-Electrification Effect. *Advanced Materials* [online]. 2018, **30**(15), 1–9. ISSN 15214095. Dostupné z: doi:10.1002/adma.201706790
 26. WU, Guiqing, Jia LI a Zhenming XU. Triboelectrostatic separation for granular plastic waste recycling: A review. *Waste Management* [online]. 2013, **33**(3), 585–

597. ISSN 0956053X. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2012.10.014
27. BLAJAN, Marius, Radu BELECA, Alexandru IUGA a Lucian DASCALESCU. Triboelectrification of granular plastic wastes in vibrated zigzag-shaped square pipes in view of electrostatic separation. *IEEE Transactions on Industry Applications* [online]. 2010, **46**(4), 1558–1563. ISSN 00939994. Dostupné z: doi:10.1109/TIA.2010.2049552
28. LAURENTIE, J. C., P. TRAORÉ a L. DASCALESCU. Discrete element modeling of triboelectric charging of insulating materials in vibrated granular beds. *Journal of Electrostatics* [online]. 2013, **71**(6), 951–957. ISSN 03043886. Dostupné z: doi:10.1016/j.elstat.2013.08.001
29. LEE, Jae Keun a Jin Hyouk SHIN. Triboelectrostatic Separation of PVC Materials from Mixed Plastics for Waste Plastic Recycling. *Korean Journal of Chemical Engineering* [online]. 2002, **19**(2), 267–272. ISSN 02561115. Dostupné z: doi:10.1007/BF02698412
30. IUGA, Alexandru, Laur CALIN, Vasile NEAMTU, Adrian MIHALCIOIU a Lucian DASCALESCU. Tribocharging of plastics granulates in a fluidized bed device. *Journal of Electrostatics* [online]. 2005, **63**(6–10), 937–942. ISSN 03043886. Dostupné z: doi:10.1016/j.elstat.2005.03.064
31. YANAR, D. K. a B. A. KWETKUS. Electrostatic separation of polymer powders. *Journal of Electrostatics* [online]. 1995, **35**(2–3), 257–266. ISSN 03043886. Dostupné z: doi:10.1016/0304-3886(94)00044-W
32. WU, Xiaoyu, Jia LI, Linpeng YAO a Zhenming XU. Auto-sorting commonly recovered plastics from waste household appliances and electronics using near-infrared spectroscopy. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2020, **246**, 118732. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2019.118732
33. MARTÍNEZ, S. Satorres, J. M.López PANIZA, M. Cobo RAMÍREZ, J. Gómez ORTEGA a J. Gámez GARCÍA. A sensor fusion-based classification system for thermoplastic recycling. *ICAC 12 - Proceedings of the 18th International Conference on Automation and Computing: Integration of Design and Engineering*. 2012, (September), 290–295.
34. HRYB, Wojciech. Sorting tests of unsorted municipal solid waste from Germany for

- a selected opto-pneumatic sorting machine. *Polish Journal of Environmental Studies* [online]. 2015, **24**(1), 99–105. ISSN 12301485. Dostupné z: doi:10.15244/pjoes/26387
35. HUTH-FEHRE, Th, R. FELDHOFF, Th KANTIMM, L. QUICK, F. WINTER, K. CAMMANN, W. VAN DEN BROEK, D. WIENKE, W. MELSEN a L. BUYDENS. NIR - Remote sensing and artificial neural networks for rapid identification of post consumer plastics. *Journal of Molecular Structure* [online]. 1995, **348**, 143–146. ISSN 00222860. Dostupné z: doi:10.1016/0022-2860(95)08609-Y
36. PIGORSCH, Enrico, Gerhard GÄRTNER, Frank HOLLSTEIN a Peter MEINLSCHMIDT. Sorting of Waste Wood by NIR Imaging Techniques. *der Schriftenreihe der GDMB*. 2014, **135**(January 2014), 127–136.
37. RIISE, B L, L E ALLEN a BIDDLE. X-Ray Fluorescence Spectroscopy in Plastics Recycling. *R'2000 Proceeding, 5th World Congress*. 2000, 5–7.
38. KOKOULIN, Andrey N., Aleksandr I. TUR a Aleksandr A. YUZHAVKOV. Convolutional neural networks application in plastic waste recognition and sorting. *Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2018* [online]. 2018, **2018-Janua**, 1094–1098. Dostupné z: doi:10.1109/EIConRus.2018.8317281
39. KOKOULIN, Andrey N. a Dmitriy A. KIRYANOV. The Optical Subsystem for the Empty Containers Recognition and Sorting in a Reverse Vending Machine. *2019 4th International Conference on Smart and Sustainable Technologies, SpliTech 2019* [online]. 2019, 1–6. Dostupné z: doi:10.23919/SpliTech.2019.8782990
40. TOMRA SYSTEMS ASA. *Reverse Vending 101: A beginners guide* [online]. 2017 [vid. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://newsroom.tomra.com/reverse-vending-101-a-beginners-guide/>
41. WONG, Diane M., Alexander A. BOL'SHAVKOV a R. E. RUSSO. Laser induced breakdown spectroscopy. *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry* [online]. 2016, 533–538. ISSN 0914-2703. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-803224-4.00062-5
42. FUNCH, Oliver Istad, Robert MARHAUG, Sampsa KOHTALA a Martin STEINERT. Detecting glass and metal in consumer trash bags during waste collection

- using convolutional neural networks. *Waste Management* [online]. 2021, **119**, 30–38. ISSN 18792456. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2020.09.032
43. COSTA, Vinícius Câmara, Jeyne Pricylla CASTRO, Daniel Fernandes ANDRADE, Diego VICTOR BABOS, José Augusto GARCIA, Marco Aurelio SPERANÇA, Tiago Augusto CATELANI a Edenir Rodrigues PEREIRA-FILHO. Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) applications in the chemical analysis of waste electrical and electronic equipment (WEEE). *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* [online]. 2018, **108**, 65–73. ISSN 18793142. Dostupné z: doi:10.1016/j.trac.2018.08.003
44. MESSAOUD, Seifeddine, Abbas BRADAI, Syed Hashim Raza BUKHARI, Pham Tran Anh QUANG, Olfa Ben AHMED a Mohamed ATRI. A survey on machine learning in Internet of Things: Algorithms, strategies, and applications. *Internet of Things* [online]. 2020, **12**, 100314. ISSN 25426605. Dostupné z: doi:10.1016/j.iot.2020.100314
45. SCHMIDHUBER, Jürgen. Deep Learning in neural networks: An overview. *Neural Networks* [online]. 2015, **61**, 85–117. ISSN 18792782. Dostupné z: doi:10.1016/j.neunet.2014.09.003
46. SIMONYAN, Karen a Andrew ZISSERMAN. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015 - Conference Track Proceedings*. 2015, 1–14.
47. COSTA, Bernardo S., Aiko C. S. BERNARDES, Julia V. A. PEREIRA, Vitoria H. ZAMPA, Vitoria A. PEREIRA, Guilherme F. MATOS, Eduardo A. SOARES, Claiton L. SOARES a Alexandre F. SILVA. Artificial Intelligence in Automated Sorting in Trash Recycling [online]. 2019, (October), 198–205. Dostupné z: doi:10.5753/eniac.2018.4416
48. KRIZHEVSKY, By Alex, Ilya SUTSKEVER a Geoffrey E HINTON. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. *Communications of the ACM*. 2012, **60**(6), 84–90.
49. WITTEN, Ian H., Eibe FRANK, Mark A. HALL a Christopher J. PAL. What's it all about? In: Tim PITTS, ed. *Data Mining Practical Machine Learning Tools and Techniques* [online]. Fourth Edi. Cambridge: Morgan Kaufmann, 2017, s. 4–9. ISBN 9780128042915. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-804291-5.00001-5

50. CORTES, Corinna a Vladimir VAPNIK. SUPPORT-VECTOR NETWORKS 1 Introduction. *Machine Learning*. 1995, **20**(3), 273–297.
51. ALTMAN, N. S. An introduction to kernel and nearest-neighbor nonparametric regression. *American Statistician* [online]. 1992, **46**(3), 175–185. ISSN 15372731. Dostupné z: doi:10.1080/00031305.1992.10475879
52. KAM, Tin Ho. Random Decision Forests Tin Kam Ho Perceptron training. *Proceedings of 3rd International Conference on Document Analysis and Recognition*. 1995, 278–282.
53. ZHU, Shichao, Honghui CHEN, Mengmeng WANG, Xuemei GUO, Yu LEI a Gang JIN. Plastic solid waste identification system based on near infrared spectroscopy in combination with support vector machine. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research* [online]. 2019, **2**(2), 77–81. ISSN 25425048. Dostupné z: doi:10.1016/j.aiepr.2019.04.001
54. BELLMER GMBH. *Screw Press AS - AKUPRESS* [online]. [vid. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.bellmer.com/separation-technology/biogas/separation-dewatering-of-waste/screw-press-as-ax/>
55. BEST CREATIVE SEPARATION SOLUTION. *AGSP Screw press* [online]. 2019 [vid. 2021-05-08]. Dostupné z: http://www.dewaterpress.com/products_show.asp?id=116
56. BULK HANDLING SYSTEMS. *Debris Roll Screen®* [online]. [vid. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.bulkhandlingsystems.com/equipment/debris-roll-screen/>
57. DEZHOU QUNFENG MACHINERY MANUFACTURING CO., Ltd. *Disc Screen|Separator for Small-volume Waste* [online]. [vid. 2021-05-11]. Dostupné z: <http://wastemachineltd.com/2-2-1-disc-screen.html>
58. ECOSTAR SRL. *Dynamic disc screening: waste screening with high performance* [online]. [vid. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.ecostar.eu.com/dds/>
59. BULK HANDLING SYSTEMS. *Glass Breaker DRS®* [online]. [vid. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.bulkhandlingsystems.com/equipment/glass-breaker/>
60. BULK HANDLING SYSTEMS. *BHS Debris Roll Screen* [online]. [vid. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.bulkhandlingsystems.com/wp/wp-content/uploads/2012/02/BHS-Debris-Roll-Screen-1.pdf>

61. ECOSTAR SRL. *ECOSTAR_flyer_EN_rel042020_hexact_email* [online]. 2020 [vid. 2021-05-11]. Dostupné z: https://www.ecostar.eu.com/wp-content/uploads/2020/06/ECOSTAR_flyer_EN_rel042020_hexact_email.pdf
62. EPA A.S. *Vibrační a třídící technika - bubnové magnetické separátory, magnetické tříděče* [online]. [vid. 2021-05-11]. Dostupné z: <http://www.epa.cz/vibracni-a-tridici-technika/bubnove-magneticke-separatory/>
63. GOUDSMIT MAGNETIC SUPPLIES B.V. *Magnetic drums in housing - basic type* [online]. 2020 [vid. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.goudsmitmagnets.com/solutions/magnetic-filtering-separating/drum-separator-magnets/in-housing-basic.html>
64. GOUDSMIT MAGNETIC SUPPLIES B.V. *Magnetic head pulleys for recycling & sorting* [online]. [vid. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.goudsmitmagnets.com/solutions/magnetic-recycling-sorting/magnetic-head-pulleys.html>
65. GOUDSMIT MAGNETIC SUPPLIES B.V. *Add-on magnetic head pulleys for recycling* [online]. [vid. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.goudsmitmagnets.com/solutions/magnetic-recycling-sorting/magnetic-head-pulleys/add-on.html>
66. STEINERT GMBH. *Magnetic head pulleys as a traversing sorter* [online]. 2021 [vid. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://steinertglobal.com/magnets-sensor-sorting-units/magnetic-separation/magnetic-head-pulleys/>
67. STEINERT GMBH. *STEINERT BR for separating weakly magnetic materials* [online]. 2021 [vid. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://steinertglobal.com/magnets-sensor-sorting-units/magnetic-separation/magnetic-head-pulleys/steinert-br/>
68. STEINERT GMBH. *STEINERT MSB reduces wear during the extraction of stainless steel* [online]. 2021 [vid. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://steinertglobal.com/magnets-sensor-sorting-units/magnetic-separation/magnetic-head-pulleys/steinert-msb-msb-hg/>
69. STEINERT GMBH. *Eddy current separators for recovering non-ferrous metals* [online]. 2021 [vid. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://steinertglobal.com/magnets-sensor-sorting-units/magnetic-separation/eddy-current-separators/>

70. STEINERT GMBH. *STEINERT CanMaster - the solution for recovery of aluminium* [online]. 2021 [vid. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://steinertglobal.com/magnets-sensor-sorting-units/magnetic-separation/eddy-current-separators/steinert-canmaster/>
71. EPA A.S. *Vibrační a třídící technika - magnetické třídíče, separátory neželezných kovů* [online]. 2021 [vid. 2021-05-12]. Dostupné z: <http://www.epa.cz/vibracni-a-tridici-technika/separatory-nezeleznych-kovu/>
72. GOUDSMIT MAGNETIC SUPPLIES B.V. *EddyXpert - Eddycurrent separators* [online]. [vid. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.goudsmitmagnets.com/solutions/magnetic-recycling-sorting/eddy-current-separators/eddyxpert.html>
73. “PRODECOLOGIA“, SMF. *Electrostatic separators type EBS-T (triboelectric)* [online]. [vid. 2021-05-12]. Dostupné z: http://www.prodecolog.com.ua/en/production/electric_separators/tribo_electric/ebs_t/
74. NATIONAL RECOVERY TECHNOLOGIES, LLC. *SpyDIR®-R* [online]. [vid. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.nrtsorters.com/equipment/spydir-r/>
75. NATIONAL RECOVERY TECHNOLOGIES, LLC. *SpyDIR®-T* [online]. [vid. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.nrtsorters.com/equipment/spydir-t/>
76. NATIONAL RECOVERY TECHNOLOGIES, LLC. *Plastics* [online]. [vid. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.nrtsorters.com/markets/plastics/>
77. STEINERT GMBH. *UniSort PR with camera-based NIR for an optimal sorting result* [online]. 2021 [vid. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://steinertglobal.com/magnets-sensor-sorting-units/sensor-sorting/nir-sorting-systems/unisort-pr/>
78. SESOTEC GMBH. *New sorting system for waste plastics by Sesotec. RECYCLING magazine* [online]. 2020 [vid. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.recycling-magazine.com/2020/07/09/new-sorting-system-for-waste-plastics-by-sesotec/>
79. TOMRA SYSTEMS ASA. *X-TRACT|metal sorting machine* [online]. [vid. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.tomra.com/en/sorting/recycling/tomra-solutions/x-tract>
80. TOMRA SYSTEMS ASA. *Selecting the right reverse vending system* [online].

- [vid. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.tomra.com/en/collection/reverse-vending/reverse-vending-systems/system-considerations>
81. TOMRA SYSTEMS ASA. *Reverse vending solutions for beverage container recycling* [online]. [vid. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.tomra.com/en/collection/reverse-vending/reverse-vending-systems>
82. TOMRA SYSTEMS ASA. *TOMRA Products: H-10 and H-11 reverse vending machines* [online]. [vid. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.tomra.com/en/collection/reverse-vending/reverse-vending-systems/mini-line/h-10-and-h-11>
83. SECOPTA ANALYTICS GMBH. *Laboranwendungen* [online]. [vid. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.secopta.com/products/mopalibs-recycling>
84. BULK HANDLING SYSTEMS. *Cleanaway opens Perth Super MRF* [online]. 2017 [vid. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.bulkhandlingsystems.com/cleanaway-opens-perth-super-mrf/>
85. CLEANAWAY WASTE MANAGEMENT LIMITED. *Perth Materials Recovery Facility (MRF)* [online]. [vid. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.cleanaway.com.au/prized-asset/perth-materials-recovery-facility-mrf/>
86. CLEANAWAY WASTE MANAGEMENT LIMITED. „*Super MRF*“ to process 50 tonnes per hour [online]. 2016 [vid. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.sustainabilitymatters.net.au/content/waste/news/-super-mrf-to-process-50-tonnes-per-hour-1208921674>
87. CLEANAWAY WASTE MANAGEMENT LIMITED. *Introducing Australia's most advanced Material Recovery Facility* [online]. [vid. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.cleanaway.com.au/sustainable-future/perths-material-recovery-facility-opens/>
88. BULK HANDLING SYSTEMS. *Nihot Air Technologies* [online]. [vid. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.bulkhandlingsystems.com/equipment/nihot-air-technologies/>
89. NATIONAL RECOVERY TECHNOLOGIES, LLC. *ColorPlus™* [online]. [vid. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.nrtsorters.com/equipment/colorplus/>

90. HOOD, Ed. *Perth Super MRF* [online]. 2018 [vid. 2021-05-19]. Dostupné z: <https://az659834.vo.msecnd.net/eventsairaeuprod/production-impactenviro-public/12891b401e4e4ed88a226caf265cd861>
91. CLEANAWAY WASTE MANAGEMENT LIMITED. *Perth Materials Recovery Facility Redevelopment* [online]. [vid. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.cleanaway.com.au/perth-materials-recovery-facility-redevelopment/>
92. BYWATERS. *Lea Riverside* [online]. 2019 [vid. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://www.bywaters.co.uk/about/facilities/lea-riverside>
93. BYWATERS. *Dry Mixed Recycling Services* [online]. 2019 [vid. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://www.bywaters.co.uk/services/recycle/dry-mixed-recycling>
94. ENF RECYCLING. *Bywaters* [online]. 2019 [vid. 2021-05-10]. Dostupné z: https://www.enfreycling.com/bywaters/id/4097?type=plastic-mrf&list_type=United-Kingdom&automation_level=r_a_1_fully
95. BYWATERS. *A 360 Degree Tour of Bywaters' MRF* [online]. [vid. 2021-05-18]. Dostupné z: <https://www.bywaters.co.uk/about/facilities/lea-riverside/a-360-degree-tour-of-bywaters-mrf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ABS Akrylonitrilbutadienstyren

LIBS z anglického Laser-induced breakdown spectroscopy; spektroskopie laserem buzeného plazmatu

NIR z anglického near-infrared; blízká infračervená oblast spektra

PC Polykarbonát

PE Polyethylen

PET Polyethylentereftalát

PMMA Polymethylmethakrylát

PP Polypropylen

PS Polystyren

PVC Polyvinylchlorid

SKO Směsný komunální odpad

XRF z anglického X-ray fluorescence; rentgenová fluorescenční

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 3D schéma šnekového lisu (9)	12
Obrázek 2 Schéma kotoučového třídíče (10).....	13
Obrázek 3 Schéma magnetického bubnového třídíče (13)	14
Obrázek 4 Schéma dopravníku s magnetickou kladkou (14)	14
Obrázek 5 Schéma separátoru s využitím vířivého proudu (17)	15
Obrázek 6 Princip oddělení PET ze směsi (22)	16
Obrázek 7 Schéma rozdělení nabitých částic při volném pádu (26).....	16
Obrázek 8 Fluidní lože pro nabíjení granulovaných plastů (30)	17
Obrázek 9 Příklady NIR spekter některých polymerů. (32)	18
Obrázek 10 Schéma možného seskupení XRF analyzátoru (37).....	19
Obrázek 11 Schéma typické laboratorní LIBS sestavy (41).....	20
Obrázek 12 AGSP Screw Press (55).....	25
Obrázek 13 Debris Roll Screen® - lze zde vidět do sebe zapadající výstupky z vedlejších hřidel (56)	26
Obrázek 14 Pohled na zařízení HEXAT bez pláště z boku (58)	27
Obrázek 15 Bubnový magnetický separátor BMS-600 EPA a.s.(62).....	27
Obrázek 16 Bubnový separátor od Goudsmit Magnetic Supplies B.V. včetně schématu funkce(63).....	28
Obrázek 17 Příklad umístění magnetické klady (65).....	29
Obrázek 18 STEINERT CanMaster® používaný pro odstranění neželezných kovů z obalových odpadů (70).....	30
Obrázek 19 Rendrovaný 3D model EBS-T(73).....	30
Obrázek 20 SpydIR®-R v provozu (74).....	31
Obrázek 21 Pohled na vzduchové trysky SpydIR®-T(75).....	31
Obrázek 22 UniSort PR EVO 5.0 v provozu (77)	32
Obrázek 23 Rendrovaný 3D model Varisort+(78)	32
Obrázek 24 TOMRA H10 nebo H11 pro zpětný odběr obalů. (82)	33
Obrázek 25 Rendrovaný 3D model použití MopaLIBS (83).....	34
Obrázek 26 Panoramatický snímek vnitřního prostoru Perth material recovery facility (87)	35
Obrázek 27 Schéma toku a kapacity Perth material recovery facility (90)	36
Obrázek 28 Pohled do vnitřního prostoru Lea Riverside (92).....	37