

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb



Diplomová práce

**Návrh využití vedlejších produktů ze zpracování
elektroodpadu**

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

Autor: Bc. Martin Smejkal



Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce:	Bc. Martin Smejkal
Studijní program:	Obchod a podnikání s technikou
Vedoucí práce:	doc. Ing. Jan Malafák, Ph.D.
Garantující pracoviště:	Katedra technologických zařízení staveb
Jazyk práce:	Čeština
Název práce:	Návrh využití vedlejších produktů ze zpracování elektroodpadu
Název anglicky:	Proposal for the use of by-products from the processing of electrical waste
Cíle práce:	Cílem diplomové práce je seznámit se s problematikou zpracování elektroodpadu. Metodický postup práce bude vycházet z určených klasifikačních, jakostních a specifikačních rámců, charakteristiky legislativy v dané oblasti odpadového hospodářství, popisu technologie a techniky vhodné ke zpracování elektroodpadu. Praktická část práce bude zahrnovat návrh technologické linky na úpravu vedlejších produktů ze zpracování elektroodpadu. Posoudit kvalitu produktů z hlediska energetického potenciálu s technicko-ekonomickým posouzením.
Metodika:	Diplomová práce se bude skládat z těchto částí: 1. Úvod 2. Cíl práce a metodika 3. Přehled poznatků z literatury 4. Výchozí podmínky řešení 5. Návrh řešení a dosažené výsledky 6. Diskuse a závěry 7. Seznam literatury 8. Přílohy
Doporučený rozsah práce:	50-60
Klíčová slova:	Elektroodpad; fluidní splav; drtič; elementární složení; výhřevnost
Doporučené zdroje informací:	<ol style="list-style-type: none">1. BAZARGAN, A. – LAM, K.F. – MCKAY, G.: Challenges and opportunities of e-waste management (Book Chapter). <i>E-Waste: Management, Types and Challenges</i>, 2012: 39-66.2. GUO, J. – GUO, J. – XU, Z.: Recycling of non-metallic fractions from waste printed circuit boards: A review. <i>Journal of Hazardous Materials</i> 168 (2-3), 2009: 567-590.3. HILTY, L.M.: Electronic waste - An emerging risk? (Editorial). <i>Environmental Impact Assessment Review</i>, 25 (5), 2005: 431-435.4. MOLTÓ, J. – FONT, R. – GÁLVEZ, A. – CONESA, J.A.: Pyrolysis and combustion of electronic wastes. <i>Journal of Analytical and Applied Pyrolysis</i>, 84 (1), 2009: 68-78.5. NNOROM, I.C. – OSIBANJO, O.: Toxicity characterization of waste mobile phone plastics. <i>Journal of Hazardous Materials</i>, 161 (1), 2009: 183-188.6. Obroučka, K.: Termické zneškodňování odpadů. VŠB Ostrava, Ostrava 1997, 140 s.7. WONG, M.H. – WU, S.C. – DENG, W.J. – YU, X.Z. – LUO, Q. – LEUNG, A.O.W. – WONG, C.S.C., LUKSEMBURG, W.J. – WONG, A.S.: Export of toxic chemicals - A review of the case of uncontrolled electronic-waste recycling. <i>Environmental Pollution</i>, 149 (2), 2007: 131-140.
Předběžný termín obhajoby:	2021/2022 LS - TF

Elektronicky schváleno: 3. 2. 2021
doc. Ing. Jan Malafák, Ph.D.
Vedoucí katedry

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Návrh využití vedlejších produktů ze zpracování elektroodpadu" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor(ka) uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 30.3.2022

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Janu Malaťákovi, Ph.D za odborné vedení práce, poskytnutí rad a za čas, který mi věnoval. Dále děkuji své rodině a přátelům za podporu, kterou mi poskytli při zpracovávání této práce.

Návrh využití vedlejších produktů ze zpracování elektroodpadu

Abstrakt

Cílem diplomové práce je návrh využití vedlejších produktů ze zpracování elektroodpadu. V úvodní části práce je popsána problematika zpracování elektroodpadu. Kapitoly postupně uvádějí čtenáře do podstaty pojmů odpadového hospodářství s elektroodpady, technologickými aspekty využívaných při zpracování a technologiích k tomu využívaných. V další části teoretického zpracování jsou probrané legislativní oblasti nakládání s odpady. Zákony uvedené v kapitole Legislativní rámec zacházení s elektroodpady byly využity na vypracování diplomové práce, jsou nedílnou součástí každého podnikatelského subjektu s elektroodpadem. Poslední kapitola teoretického zpracování je zaměřena na organizace působící v oblasti nakládání s elektrozařízením. Kapitola vybraným způsobem popisuje proces přeměny elektrozařízení na elektroodpad. Vlastní práce návrhu technologické linky ukazuje principy volby jednotlivých parametrů. Podoba navržené linky vychází z moderních postupů a recyklačních linek z reálných provozů. Linka má výkonnost $2,125 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ to odpovídá výkonnosti největších zpracovatelů v tuzemsku. Výkonnost linky byla použita pro výpočty cenové bilance firmy. K návrhu využití vedlejších produktů byl zhotoven pokus odebraného vzorku elektroodpadu na jeho energetický potenciál. Z energetického potenciálu vzorku bylo dosaženo vysoké výhřevnosti, která byla použita pro návrh plastu jako druhotného paliva.

Klíčová slova: odpad, plast, materiál, železo, zpracovatelská linka, výhřevnost

Proposal for the use of by-products from the processing of electrical waste

Abstract

The aim of the diploma thesis is to propose the use of by-products from the processing of electrical waste. The introductory part of the thesis describes the issue of electrical waste treatment. The chapters gradually introduce to readers the principle of the concepts of waste management with electrical waste, technological aspects used in processing and technologies use. In the next part of the theoretical elaboration, the legislative areas of waste management are discussed. The laws listed in the chapter Legislative framework for the treatment of electrical waste were used in the elaboration of the diploma thesis, they are an integral part of every business entity with electrical waste. The last chapter of theoretical elaboration is focused on organizations operating in the field of electrical equipment management. The selected chapter describes the method of converting electrical equipment into electrical waste. The actual design work of the technological line shows the principles of selection of individual parameters. The design of the proposed line is based on modern procedures and recycling of lines from real operations. The line has an output of $2,125 \text{ t.h}^{-1}$, which corresponds to the output of the largest processors in the country. The line's performance was for the company's price balance calculations. To suggest the use of by-products, an experiment was made of the collected sample of electrical waste for its energy potential. From the energy potential of the sample, a high calorific value was achieved, which was used for the design of plastic as a secondary fuel.

Keywords: waste, plastic, material, ferrous, processing line, calorific value

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíl práce a metodika.....	2
3. Odpadové hospodářství.....	3
3.1. Elektrozařízení	3
3.2. Druhy elektrozařízení.....	4
3.3. Recyklace	7
3.3.1. Podoba finálních produktů ze zpracovaného elektroodpadu	12
4. Legislativní rámec zacházení s elektroodpady.....	13
4.1. Legislativa České republiky	13
4.1.1. Zákon o odpadech č. 541/2020 Sb.....	13
4.1.2. Zákon o výrobcích s ukončenou životností č. 542/2020 Sb.	14
4.1.3. Nařízení vlády č. 481/2012 Sb.....	15
4.2. Legislativa Evropské unie	16
4.2.1. Směrnice evropského parlamentu 2012/19/EU	16
4.2.2. Směrnice evropského parlamentu 2011/65/EU	16
4.2.3. Nařízení Komise (EU) č. 1357/2014	16
5. Technologie a technika používaná ke zpracování elektroodpadu.....	17
5.1. Mechanické metody zpracování.....	17
5.1.1. Ruční demontáž	17
5.1.2. Rozmělnění materiálu.....	18
5.1.2.1. Drtiče	18
5.1.2.2. Mlýny.....	20
5.1.3. Separace	21
5.1.3.1. Prosévání.....	21
5.1.3.2. Separace hustotou	23
5.1.3.3. Magnetická separace.....	24

5.1.3.4. Elektrostatická separace.....	24
5.2. Hydrometalurgické metody zpracování	26
5.3. Elektrometalurgické metody zpracování.....	28
5.4. Pyrometalurgické metody zpracování	28
5.4.1. Tavení	28
5.4.2. Termické spálení v pyrolýzní peci.....	29
5.4.3. Metoda s plynnou fází.....	29
5.5. Dopravníky.....	29
5.5.1. Vibrační dopravníky	29
5.5.2. Šnekové dopravníky	30
5.5.3. Pásové dopravníky	30
5.6. Spalování.....	31
6. Organizace elektroodpadu.....	32
6.1. Společnosti zpracovávající elektroodpad na území ČR.....	33
6.1.1. Asociace recyklátorů elektroodpadu na území ČR.....	34
7. Vlastní práce.....	37
7.1. Výchozí data k návrhu linky	37
7.2. Návrh zpracovatelské linky	38
7.2.1. Lokace.....	39
7.2.2. Lidský kapitál a provoz.....	40
7.2.3. Výkonnost linky.....	41
7.3. Podoba zpracovatelského komplexu	42
7.3.1. Sekce 1- Skladování a třídění	43
7.3.2. Sekce 2- Technologická linka.....	43
7.3.2.1. Fáze č.1- Předzpracování a demontáž.....	43
7.3.2.2.1. Fáze č. 2.1 Chladicí zařízení.....	46
7.3.2.2.2. Fáze č. 2.2 Malé a velké spotřebiče.....	48

7.3.3.	Sekce č. 3- Tavení a tváření.....	51
7.3.4.	Výsledný materiál	52
7.4.	Vlastní měření složek OEEZ.....	53
7.4.1.	Laboratorní měření	53
7.4.2.	Naměřené hodnoty	58
7.4.3.	Výpočet dodávaného výkonu.....	58
7.4.4.	Vyhodnocení výsledků měření	60
7.5.	Ekonomická analýza	61
7.5.1.	Prodej vyseparovaných kovů	62
7.5.2.	Výsledky ekonomické analýzy	64
8.	Závěr	65
9.	Seznam použitých zdrojů	67
	Seznam obrázků	72
	Seznam tabulek	73
	Seznam grafů	74
	Seznam příloh	75

Seznam použitých zkratk

MZP Ministerstvo životního prostředí

OEEZ elektrická nebo elektronická zařízení s ukončenou životností

PUR polyuretan

EU Evropská unie

PVC polyvinylchlorid

PE polyetylen

PP polypropylen

PES polyester

USD americký dolar

1. Úvod

Odpadové hospodářství je založeno na principech nakládání s odpadem, a jako jedním z nejdůležitějších cílů si udává získání a využití druhotných surovin ze zpracování odpadu. Evropská unie a členské státy mají velký zájem na recyklaci odpadů v ohledu na životní prostředí, ale neméně důležitým problémem je nedostatek nerostných zásob na území EU. Získané druhotné suroviny z elektroodpadu mají velkou potenciální hodnotu na trhu s nerostnými surovinami a potenciál využití v energetickém průmyslu. Získávání druhotných surovin z vyřazených zařízení je pro průmyslové využití v mnoha odhadech rychlejší a perspektivnější než dobývání rudy, kterou je nutno úpravnickými metodami převést na hotový produkt.

Volbou tématu mé diplomové práce bylo získat povědomí o principech nakládání s elektroodpady a nahlédnout do podstat fungování technik a technologií používaných k jejich zpracování. Rychlý vývoj a modernizace elektrozařízení stále přináší velký počet elektrozařízení do stavu, kdy je vyřazeno v podobě elektroodpadu.

Navržením funkčního typu zpracovatelské linky a využití poznatků k recyklaci elektroodpadu je zajímavým konceptem možného podnikatelského záměru ve stále rostoucím odvětví. Ekonomické posouzení celého projektu je základním ukazatelem návratnosti a dlouhodobé udržitelnosti fungování celého systému zpracování elektroodpadu. Zhodnocení druhotných surovin z elektroodpadu je v energetickém průmyslu další možnou alternativou. Provedením laboratorních zkoušek elektroodpadu můžeme získat skladbu prvkového zastoupení obsaženého v běžných podmínkách skladování elektroodpadu a vyhodnotit parametry elektroodpadu jako paliva.

2. Cíl práce a metodika

Hlavním cílem diplomové práce je návrh využití vedlejších produktů ze zpracování elektroodpadu. V první části práce je uveden literární přehled v dané oblasti řešeného cíle. Charakterizujeme problematiku odpadového hospodářství s elektroodpady a technologie a techniky zastoupené ve velké míře na trhu zpracovatelů elektroodpadu. Práce má seznámit s právními předpisy České republiky na vybrané téma, a jak jsou tyto zákony ovlivněny zákony EU. Podmínky zavazují zpracovatele odpadového hospodářství se vydanými předpisy řídit. K praktickému řešení je cílem zhotovit vybraný rejstřík zpracovatelských firem elektroodpadu v tuzemsku a vyhodnotit získaná data z dostupných firem.

Praktická část má za cíl navrhnout zpracovatelskou linku elektroodpadu z vyhodnocených poznatků. Cílem je podat návrh odpovídající reálnému využití ve velkém zpracovatelském měřítku v kontextu konkurence schopném tuzemském trhu. Provést ekonomické posouzení zhotovení zpracovatelské linky s cílem návratnosti a výsledným stavem cen trhu s druhotnými surovinami. Vyhodnotit kvalitativní parametry elektroodpadu získaného ze sběrných míst. Provedení analýzy vybraných vzorků má za úkol získat jejich energetický potenciál k posouzení vhodnosti energetického využití ve spalovacích zařízeních.

Metodika návrhu zpracovatelské linky druhotných surovin:

- Navrhnu parametry linky ze získaných poznatků
- Výběr a sestavení techniky a technologie zpracování elektroodpadu
- Ekonomické posouzení linky

Metodika měření energetického potenciálu:

- Analýza vzorku
- Měření a zpracování naměřených hodnot
- Vyhodnocení energetického potenciálu

3. Odpadové hospodářství

Činnost spojená nakládáním s odpady vzniklých při výrobním či nevýrobním procesu. Hospodárná činnost využití vzniklého odpadu je nedílnou součástí hlediska ochrany životního prostředí a hlediska ekonomické udržitelnosti. (1)

Hlavními cíli hospodaření s odpady jsou:

- Předcházení nebo omezení vzniku odpadu
- Jestliže odpad již vznikne je potřeba, aby s ním bylo nakládáno co nejefektivněji. Efektivní využití znamená maximální využití odpadu, jako druhotné suroviny v původní nebo upravené formě, a aby v co nejmenší míře docházelo k narušování životního prostředí. (1)

3.1. Elektrozařízení

Za elektroodpad lze požadovat elektrozařízení, které se stalo odpadem, včetně komponentů, konstrukčních dílů a spotřebních dílů, které jsou v tom okamžiku součástí elektrozařízení. Jedná se o směsi různých kovů, spojené nebo pokryté různými druhy plastů a keramiky. Vývoj elektrických zařízení je v dnešní době na takové úrovni, že zastaralými elektro zařízeními se stávají ještě zcela funkční zařízení. (2)

K definici elektroodpadu je potřeba znát pojem elektrozařízení. **Elektrickým nebo elektronickým zařízením** rozumíme zařízení, jehož funkce závisí na elektrickém proudu nebo na elektromagnetickém poli nebo zařízení k výrobě, přenosu a měření elektrického proudu nebo elektromagnetického pole, a které je určeno pro použití při napětí nepřesahujícím 1000 V pro střídavý proud a 1500 V pro stejnosměrný proud. (2)

3.2. Druhy elektrozařízení

Výrobek prodávaný na trhu EU již spadá do definice elektrického a elektronického zařízení neboli OEEZ je povinen být označen symbolem pro tento druh výrobku. Označený výrobek s tímto symbolem by měl být odevzdán do sběrných zařízení k tomu určených a využit k recyklaci. (3)



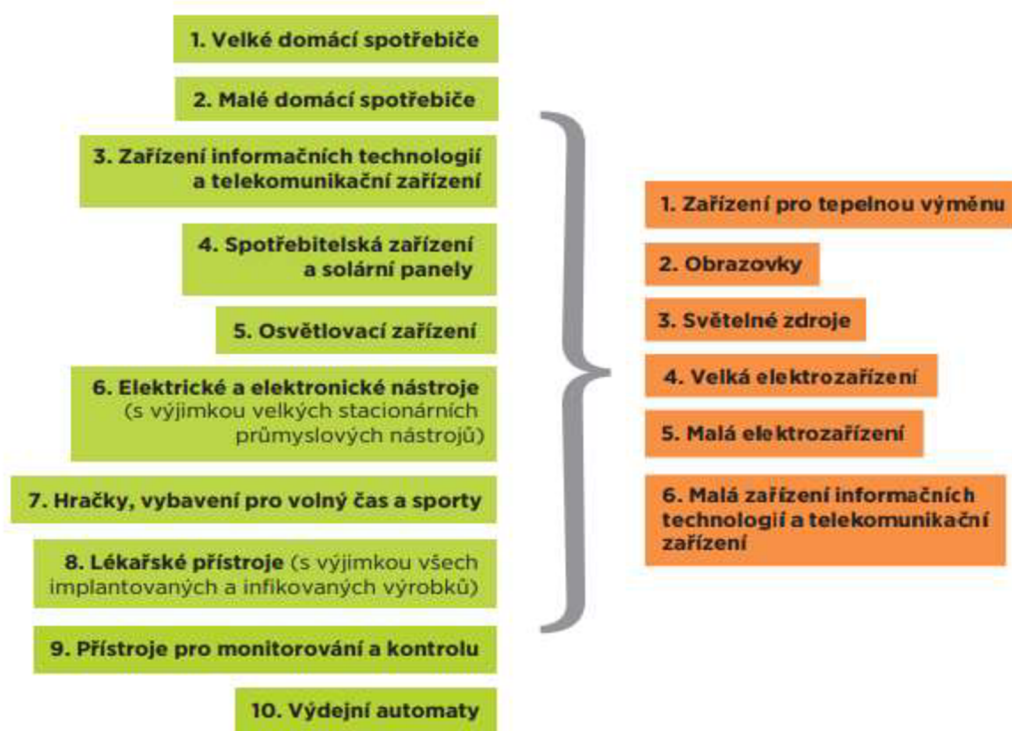
Obr. 1 Značení OEEZ

Elektrozařízení určená k použití v domácnosti (tzv. B2C) – jsou taková elektrozařízení, která je možné použít v domácnosti. Do této skupiny se zařazují také elektrozařízení, která je možné použít jak v domácnosti, tak v podnikatelské sféře (počítače, ledničky atp.) (2)

Elektrozařízení neurčená k použití v domácnosti (tzv. B2B) – jsou taková elektrozařízení, která se v domácnostech běžně nepoužívají, ale používají se výhradně v podnikatelské sféře – např. laboratorní přístroje (2)

SKUPINY ELEKTROZAŘÍZENÍ

Původní rozdělení skupin elektrozařízení obsahovalo 10 skupin, v roce 2019 došlo k novele a pro účely zpracování roční zprávy data o uvedení na trh, zpracování a využití elektrozařízení a elektroodpadu shromažďují v režimu 6 skupin. (4)



Obr. 2 Skupiny elektrozařízení ELEKTROWIN

Elektrozařízení spadající do nových 6 skupin, které jsou uvedeny v příloze č. 7 II zákona o odpadech:

1. Zařízení pro tepelnou výměnu- Jedná se o skupinu náležící do zařízení z původní skupiny 1, která obsahují médium jiné než vodu, příkladem jsou chladničky, mrazničky, klimatizace. Též se zde řadí podobná zařízení z původní skupiny 10 příkladem jsou výdejní automaty chlazených nápojů. (4)

2. Obrazovky, monitory a zařízení obsahující obrazovky o ploše větší než 100 cm²- Do této skupiny náleží zařízení z původní skupiny 3 a 4 jejichž součástí jsou zobrazovací části (např. monitory, televize, tablety, notebooky, čtečky knih). (4)

3. **Světelné zdroje**- V této skupině nacházejí umístění světelné zdroje z původní skupiny 5 (např. zářivky, výbojky, LED diody). (4)

4. **Velká zařízení**, jejichž kterýkoli vnější rozměr přesahuje 50 cm, kromě zařízení náležejících do skupin 1, 2 a 3, zahrnující kromě jiného: domácí spotřebiče, zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení, spotřební elektroniku, svítidla, zařízení reprodukcující zvuk či obraz, hudební zařízení, elektrické a elektronické nástroje, výdejní automaty, zařízení pro výrobu elektrického proudu (4)

5. **Malá zařízení**, jejichž žádný vnější rozměr nepřesahuje 50 cm, kromě zařízení náležejících do skupin 1, 2, 3 a 6, zahrnující kromě jiného: domácí spotřebiče, spotřební elektroniku, svítidla, zařízení reprodukcující zvuk či obraz, hudební zařízení, elektrické a elektronické nástroje, přístroje pro monitorování a kontrolu, výdejní automaty, zařízení pro výrobu elektrického proudu (4)

6. **Malá zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení**, jejichž žádný vnější rozměr nepřesahuje 50 cm. (4)

Metodika zjišťování velikosti elektrozařízení

Pro správné zařazení elektrozařízení do nových 6 skupin byla navržena následující metodika měření nejdelší hrany elektrozařízení, která je rozhodná pro zařazení do skupin:

- Vnější rozměry elektrozařízení se měří v situaci, kdy je zařízení připraveno k použití, avšak bez částí a příslušenství jako jsou hadice a kabely;
- Napájecí pohyblivé kabely pevně spojené se zařízením nebo odpojitelné se neměří;
- V případě, že má elektrozařízení zasouvací nebo skládací části (např. antény nebo kloubová ramena lampiček), se měření v jejich nejkompaktnější podobě umožňující jejich použití. (4) (5)

3.3. Recyklace

Elektroodpady obsahují velké množství látek a materiálů zatěžujících životní prostředí, ale zároveň celou řadu materiálů, které je možné efektivními způsoby přeměnit na druhotně využitelné zdroj. (5) (6)

Při recyklačním procesu je určitý sled kroků, který napomáhá dojít k výsledku nejvyššího zhodnocení vstupního materiálu. Přehled jednotlivých kroků je seřazen sestupně, způsobem jak materiál vstupuje do procesu.

- **Materiálové zhodnocení**

- Posouzení zbytkových hodnot obchodním partnerem. Důležitý ukazatel přínosu ekonomického zhodnocení při recyklaci.
- Vyhodnocení společnostmi zabývajícími se zpracováním elektroodpadu. Jaký je nejlepší způsob zpracování vstupního materiálu.

- **Přidaná hodnota**

- Znovuvyužití a prodej zboží třetí straně
- Rekonstrukce, modernizace zboží za účelem prodeje nebo věnování jako dar třetí straně

- **Předběžné zpracování**

Předzpracování určuje, které frakce a tím i látky OEEZ jsou směřovány do příslušných toků konečného zpracování. Jakékoli třídění konkrétní cílové látky do „nesprávného“ výstupního proudu z předběžného zpracování ve většině případů vede ke ztrátě této látky ve zpracovatelském procesu. Efektivita předzpracování má tedy velký dopad na regeneraci konkrétní látky v celém recyklačním řetězci.

- Demontáž jednotlivých částí pro opětné využití
- Demontáž k zisku hodnotných složek recyklovaného výrobku
- Demontáž vedoucí k odstranění škodlivých složek
- Metody zpracování drcením, mletím, granulací, stříháním, paketováním, briketací, kryogenními metodami
- Separace železných a neželezných podílů, ušlechtilých kovů, plastů

- **Recyklace kovů**
 - Tavení železa
 - Rafinace neželezných kovů
- **Zpracování/zneškodnění**
 - Recyklace nebezpečných látek
 - Zneškodnění nebezpečných látek
- **Uložení**
 - Uložení nebezpečných látek
 - Uložení nerecyklovatelného zbytku z elektroodpadu (6)

Užitkový materiál vzniklý z elektroodpadu

Vedlejší produkty vzniklé z recyklovaných elektrických zařízení přináší možnost navrátit materiál v podobě železných kovů, neželezných kovů, plastů, skla a elektrických součástek zpět do oběhu. Elektronický odpad bývá složen nejčastěji ze tří hlavních složek z **kovů** ($\approx 40\%$), **žáruvzdorných oxidů** ($\approx 30\%$) a **plastů** ($\approx 30\%$). (6)

Složky kovu obsažené v elektronickém odpadu jsou Měď [Cu], Železo [Fe], Nikl [Ni], Cín [Sn], Olovo [Pb], Hliník [Al] a Zinek [Zn]. (6)

Složky žáruvzdorných oxidů v elektronickém odpadu jsou Křemík [Si] (15%), Oxid hlinitý [Al₂O₃] (6%) a oxidy alkalických zemin (6%). (6)

Složky plastů v elektronickém odpadu jsou syntetické polymery ($\approx 25\%$), příkladem jsou polyvinylchlorid [PVC] polyetylen [PE], polypropylen [PP], polyester [PES]. Zbývající složky plastu jsou halogenidové a nitrogenové polymery. (6)

Složení Elektrospotřebičů

Tab. 1 Materiál zastoupený v lednici

Materiál	Podíl
Železo	42,50%
Kompresor	22,50%
Polyurethan	11,25%
Plasty	10%
Nekovy	7,25%
Odpad	3,50%
FCKW - tvrdé freony	1,13%
Oleje	0,63%
Ostatní	1,26%

(7)

Tab. 2 Složení materiálového zastoupení ve vybraných druzích zařízení

Materiál	Velké zařízení [%]	Malá zařízení [%]	Informační a komunikační technologie [%]
Železo	43	29	36
Hliník	14	9,3	5
Měď	12	17	4
Olovo	1,6	0,57	0,29
Kadmium	0,0014	0,0068	0,018
Rtuť	0,000038	0,000018	0,00007
Zlato	0,00000067	0,00000061	0,00024
Stříbro	0,0000077	0,000007	0,0012
Paládium	0,0000003	0,00000024	0,00006
Indium	0	0	0,0005
Brómované plasty	0,29	0,75	18
Plasty	19	37	12
Olověné sklo	0	0	19
Sklo	0,17	0,16	0,3
Různé	9,94	6,22	5,4
Celkem	100	100	100

(8)

Společnost **Praktik** nabízí velké množství recyklovaného materiálu a recyklovaných příslušenství elektrických spotřebičů:

Al granulát (s kvalitou 96%) (měsíční výtěžnost 30 000 Kg)

- Hliník ze vstupního materiálu lednice
- Frakce 3-15 mm

Fe drť (s měsíční výtěžností 500 000 Kg)

- vstupní materiál lednice
- velikost frakce 3-50 mm

Kabely s koncovkou (5 000 Kg)

Elektromotory z praček (měsíční výtěžnost 25 000Kg)

Mix neželezných kovů pod 3 mm (Al, Cu, Zn) (měsíční výtěžnost 10 000 Kg)

- vstupní materiál lednice
- velikost frakce 1-3 mm

Mix neželezných kovů 3-10 mm (Al, Cu, Zn) (10 000Kg)

- vstupní materiál lednice
- velikost frakce 3-10 mm(9)

Nebezpečný materiál vzniklý z elektroodpadu

Elektrické spotřebiče či elektronické součástky obsahují mnoho látek nebezpečných pro environmentální prostředí tak i pro lidský organizmus. Toxické látky jsou chemické látky, které mohou poškodit nebo zhoršit tělesné funkce živočichů. Látky takto obsažené v elektrickém odpadu můžeme naleznout ve všech třech skupenstvích. (6)

Zařazování odpadů do kategorie nebezpečných odpadů se děje na základě § 7 zákona č. 541/2020 Sb., o odpadech. Odpad je považován za nebezpečný, pokud:

(1) Nebezpečný odpad a ostatní odpad

a) vykazuje alespoň jednu z nebezpečných vlastností uvedených v příloze přímo použitelných předpisů Evropské unie o nebezpečných vlastnostech odpadů,

(b) se zařazuje do druhu odpadu, kterému je v Katalogu odpadů přiřazena kategorie nebezpečný odpad, nebo

(c) je smísen s některým z odpadů uvedených v písmenu b) nebo je jím znečištěn.

(10)

(2) Nebezpečná vlastnost se přiřazuje odpadu na základě kritérií a limitních hodnot stanovených přímo použitelnými předpisy Evropské unie o nebezpečných vlastnostech odpadů³⁾ a v případě nebezpečných vlastností odpadů uvedených v příloze těchto předpisů Evropské unie pod označeními HP 9, HP 14 a HP 15 na základě doplňujících limitních hodnot a kritérií. (10)

(3) Ostatní odpad je odpad, který nesplňuje podmínky uvedené v odstavci 1. Směsný komunální odpad se považuje za ostatní odpad, i když splňuje podmínky uvedené v odstavci 1. (10)

(4) Odpad uvedený v odstavci 1 písm. b) nebo c) nebo nebezpečný odpad po úpravě může být zařazen jako ostatní odpad, pouze pokud u něj byly vyloučeny nebezpečné vlastnosti hodnocením nebezpečných vlastností odpadu podle § 76. (10)

(5) Ministerstvo a Ministerstvo zdravotnictví stanoví vyhláškou doplňující limitní hodnoty a kritéria pro nebezpečné vlastnosti odpadu uvedené v příloze přímo použitelných předpisů Evropské unie o nebezpečných vlastnostech odpadů³⁾ pod označeními HP 9, HP 14 a HP 15. (10)

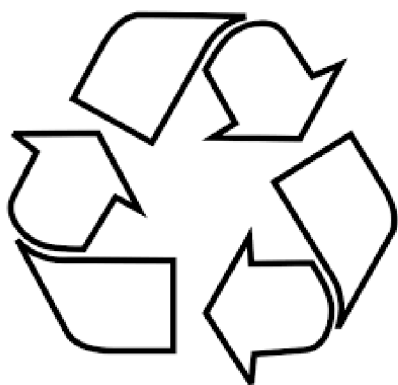
Hodnocení nebezpečných vlastností odpadů

Hodnocení nebezpečných vlastností odpadů probíhá prostřednictvím elektronického systému pro administraci hodnocení nebezpečných vlastností odpadů (HNVO).

System usnadňuje přístup žadatelů o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů k informacím o pověřených osobách, včetně seznamu pověřených osob a kontaktů na ně. (11)

3.3.1. Podoba finálních produktů ze zpracovaného elektroodpadu

Elektroodpad následně prochází od sběrných míst do zpracovatelských zařízení, kde následuje poslední část cyklu. Cyklus opětovného využití zpracovaných materiálů v podobě zachovalých součástí eklektického zařízení nebo přepracovaného materiálu v podobě drtě, která je zakomponovaná do nového výrobního procesu. Vzniká nový výrobek, který bývá označen znakem **Tříšipkovým trojúhelníkem s nevyplněnými čarami**. Znak označuje výrobky zhotovené z recyklovaných materiálů spolu se zkratkou materiálu, ze kterého je výrobek nebo obal vyroben. (6)



Obr. 3 Znak recyklovaného výrobku

Výrobky z recyklovaného elektroodpadu

Příkladem výrobků z recyklovaného elektroodpadu jsou Hliníkové disky, plastový obalový materiál, izolace z PUR pěny, roury z barevných kovů, hřebíky, zatravňovací dlaždice. (12)

Jeden z nejmedializovanějších případů využití recyklovaného elektrického odpadu bylo na Olympiádě v Tokiu 2021. V tomto případě bylo využito elektroniky převážně z mobilů, notebooků a kapesních hodinek v hmotnosti 78 874 tun. Z nasbíraného elektroodpadu následně bylo získáno přibližně 32 kg zlata, 3500 kg stříbra a 2200 kg bronzu. Zhotoveno bylo přibližně 5 tisíc medailí. (13)

4. Legislativní rámec zacházení s elektroodpady

4.1. Legislativa České republiky

Zákon o odpadech České republiky se řídil po mnoha letech zákonem č. 185/2001 Sb. Platnost tohoto zákona byl uveden v roce 2001 a jeho různé právní úpravy byly platné až do roku 2021. Dne 01.01.2021 přišel k účinnosti Zákon o odpadech č. 541/2020 Sb., také vešel do platnosti nový zákon, který má zpřehlednit nakládání s odpady a to zákon o výrobcích s ukončenou životností č. 542/2020 Sb. (10)

4.1.1. Zákon o odpadech č. 541/2020 Sb.

Zákon si ukládá za cíl zajištění vysoké úrovně životního prostředí a ochranu lidského zdraví. Zákonnými úpravami míří na trvale udržitelné využívání přírodních zdrojů, které předchází vzniku odpadů. Vzniklé odpady se řadí do hierarchie odpadového hospodářství, ve kterém je s nimi nakládáno v souladu s ekonomickými a ekologickými principy. (10)

Zákon o odpadech se vztahuje k platným předpisům Evropské unie, ze kterých vychází úpravy v zákoně č. 541/2020 Sb. Úpravami jsou pravidla pro předcházení vzniku odpadu a pro nakládání s nimi. Práva a povinnosti osob spojená s nakládáním s odpady a působnost orgánů veřejné správy působících v odpadovém hospodářství. (10)

Část druhá zákona o odpadech je povinnosti spojené s nakládáním s odpady, kterými se řídí jak zpracovatelé odpadu, tak i původci odpadu. Instruuje jak nakládat s odpady obsahující škodlivé látky, jakou jsou polychlorované bifenyly, polychromované terfenyly, monometyltetrachlordifenylmetan a jiné PCB. Zařízení obsahující PCB jsou kondenzátory, rezistory, vakuová čerpadla nebo indukční cívky. Evidence odpadů, poplatky za skladování, stanovení odpovědných orgánů vykonávajících státní správu jsou další části nového zákonného ustanovení, která jsou důležitá pro podnikatele zpracovávající elektroodpad. (10)

4.1.2. Zákon o výrobcích s ukončenou životností č. 542/2020 Sb.

Příslušný zákon o výrobcích s ukončenou životností má za úlohu zpřehlednit a sjednotit nakládání s vybranými výrobky, která byla v různých předchozích úpravách obsažena v zákoně č. 185/2001 Sb. (14)

Zákon vychází z platných předpisů Evropské unie, které upravují pravidla pro předcházení vzniku odpadu z vybraných výrobků, jako jsou elektrozařízení, baterie nebo akumulátory. Upravuje práva a povinnosti výrobců při uvedení vybraných výrobků na trh, ukládá jak nakládat s výrobky s ukončenou životností a působnosti orgánu činných v oblasti předcházení vzniku odpadu. (14)

Elektrozařízení obsahující kompletní součásti potřebné pro jeho použití ke stejnému účelu, ke kterému bylo původně určeno a jeho funkčnost a bezpečnost byla ověřena, lze podrobit procesu přípravy k opětovnému použití. Elektrozařízení neúplná nebo v neopravitelném stavu je výrobce povinen zpětně odebrat a zpracovat pomocí nejlepších dostupných technik. (14)

Povinnost zpracovatele je stanovena v DRUHÉ ČÁSTI paragrafu č. 69. Ke zpracování odpadního elektrozařízení je oprávněn pouze zpracovatel odpadních elektrozařízení.

Zpracovatel je povinen:

a) přednostně vyjmout z odpadního elektrozařízení všechny látky a součásti stanovené vyhláškou ministerstva,

b) provádět demontáž, soustřeďovat, skladovat, zpracovávat nebo jinak nakládat s odpadním elektrozařízením v souladu s technickými požadavky a vybranými technickými normami Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví,

c) zajistit ověření plnění povinnosti podle písmene b) odborně způsobilou třetí osobou, která je držitelem akreditace vydané Českým institutem pro akreditaci podle technických norem stanovených vyhláškou ministerstva, a na vyzvání předložit ministerstvu písemnou zprávu o tomto ověření, která nebude starší tří let,

d) vést průběžnou evidenci o odpadech a způsobech nakládání s nimi a zasílat příslušnému správnímu úřadu hlášení o druzích a množství odpadů a o způsobech nakládání s nimi, pokud jde o převzatá odpadní elektrozařízení a o jiné odpady, za podmínek stanovených zákonem o odpadech, a

e) zajistit využití zpětně odebraných odpadních elektrozařízení minimálně v rozsahu stanoveném v příloze č. 3 k tomuto zákonu. (14)

Zpětný odběr odpadního zařízení

Výrobce elektrozařízení je povinen v rámci svého systému zajistit zpracování odpadních elektrozařízení, která zpětně odebral, za použití nejlepších dostupných technik.

b) využití nebo odstranění zpětně odebraných odpadních elektrozařízení nejpozději do konce kalendářního roku následujícího po roce, v němž byla odebrána,

c) využití zpětně odebraných odpadních elektrozařízení minimálně v rozsahu stanoveném v příloze č. 3 k tomuto zákonu

Zánik oprávnění k provozování kolektivního systému nastává při opakované nesplnění povinnosti dosáhnout minimální úrovně zpětného odběru. Minimální hranice je stanovena dle zákona. (14)

4.1.3. Nařízení vlády č. 481/2012 Sb.

Nařízení vlády o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních. Označení "RoHS" je akronymem složeným z počátečních písmen anglického označení Restriction of Hazardous Substances, která udává výrobcům, jejich zplnomocněným zástupcům a dovozcům, kteří elektrická a elektronická zařízení uvádí na trh v České republice a distributorům, kteří tato zařízení na trh v České republice dodávají. (15)

4.2. Legislativa Evropské unie

Evropská unie je založenou na zásadách právního státu s kompletním systémem právních prostředků a postupů, jež Soudnímu dvoru Evropské unie umožňuje přezkoumávat legalitu aktů orgánů a institucí EU. Zásada přednosti práva EU je základním pilířem právního řádu EU a má zaručit jednotu a soudržnost unijního práva. Soudní dvůr formálně trvá na tom, že unijní právo je zcela nadřazeno právním předpisům členských států, a vždy si vyhrazoval postavení poslední instance pro učení vztahu mezi unijním a vnitrostátním právem. (16)

4.2.1. Směrnice evropského parlamentu 2012/19/EU

Environmentální problematika ve vztahu k nakládání s elektrickými a elektronickými zařízeními je stanovena opatřeními na ochranu životního prostředí a lidského zdraví tím, že se zabráňuje nepříznivým vlivům vzniku odpadu z elektrických a elektronických zařízení a nakládání s ním nebo že se tyto vlivy sníží, a tím, že se omezí negativní dopady využívání přírodních zdrojů, což přispěje k udržitelnému rozvoji. (17)

4.2.2. Směrnice evropského parlamentu 2011/65/EU

Upravuje omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních označovaných jako RoHS. Stanovují pravidla pro omezení používání nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních (EEZ) s cílem přispět k ochraně lidského zdraví a životního prostředí, včetně ekologicky šetrného využití a odstranění odpadních EEZ. (18)

4.2.3. Nařízení Komise (EU) č. 1357/2014

Mezi nebezpečné odpady řadíme odpady, které vykazují alespoň jednu nebezpečnou vlastnost uvedenou v příloze nařízení komise (EU) č. 1357/2014 ze dne 18. prosince 2014, kterým se nahrazuje příloha III směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/98/ES o odpadech. Vlastnosti odpadů mohou být výbušnost, určité oxidující vlastnosti, hořlavost, dráždivost, toxicitu, karcinogenní vlastnosti, žíraviny, infekční vlastnosti, mutagenní vlastnosti a další. (19)

5. Technologie a technika používaná ke zpracování elektroodpadu

Technologie jsou navrhované, aby splňovali požadavky zákazníka na dosažení vysoké efektivity zpracovaného elektrozařízení a na požadovanou jakost materiálu vycházejícího z procesu. Dalšími ukazateli jsou množství zpracovaného vstupního elektroodpadu na časový údaj ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$, $\text{t}\cdot\text{týdny}^{-1}$, $\text{t}\cdot\text{měsíc}^{-1}$, $\text{t}\cdot\text{rok}^{-1}$). (5)

5.1. Mechanické metody zpracování

Mechanické zpracování obsahuje procesy úpravy materiálu, mezi které patří drcení, mletí, třídění dle velikosti, gravitační, magnetická a elektrostatická separace. Metody mechanického zpracování jsou založeny na postupném získávání základních druhů surovin. (20)

Elektroodpad vstupující do zpracovny můžeme rozdělit do dvou fází mechanického postupu zpracovnou. První fází je vybraná demontáž vstupního elektroodpadu. Druhou fází je mechanická zpracování k recyklaci. Při druhé fázi dochází k vyvinutím mechanických sil na vstupní surovinu, u které je docíleno uvedení suroviny do odpovídajícího stavu, kde se uplatní mechanické postupy separující materiál. (20)

5.1.1. Ruční demontáž

Mechanickému zpracování u elektroodpadu ve velkém množství případů předchází ruční demontáž nebo částečně mechanizovaná demontáž, ve kterém je zapojen zaškolený personál. Jedná se o zodpovědnou práci, která má za úkol u vybraných elektrospotřebičů lokalizovat a demontovat vytypované součásti elektrických spotřebičů. Mezi vytypované součásti patří cenné kovy, zachovalé součásti spotřebiče (el. motor), součásti obsahující nebezpečné látky. (6) (20)

5.1.2. Rozmělnění materiálu

Vybraný materiál, který byl určen k úpravě je fragmentován na zpracovatelné složky způsobem drcením, mletím a řezáním. Specializované stroje působením mechanických sil docílí, že dochází k překročení meze kluzu materiálu a ten se následně začne lámat na drobnější části. Části získané z procesu jsou podrobeny mechanickému namáhání do doby, než se dosáhne vhodného stupně uvolnění kovu. (6) (20)

Uvolnění kovu definuje procentuální zastoupení uvolněných částí materiálu ve vztahu ke zpracovávanému celku. Části uvolněné v průběhu procesu jsou vyhodnocovány na základě velikosti. Čím menší jsou části na konci procesu, tím kvalitnější dostáváme produkt k dalšímu zpracování. Za ideální velikost, kdy dochází k úplnému očištění se dá považovat velikost zrna 2 mm. Energetická účinnost rozmělnění je velmi nízká a potřebná energie je nepřímo úměrná velikosti produkovaných částí. Při posouzení energetické náročnosti se musí vzít v úvahu, kdy je stupeň očištění „dostatečný“. Zpracovávatel se musí rozhodnout kdy je velikost zrna dostatečná a přihlídnout k požadavkům zákazníků. (6) (20)

Rozmělnovací proces nastává při působení vnějších sil na zpracovávající materiál. Existují různé formy pohybu, které generují sílu dostatečnou ke zpracování vstupního materiálu. Pohyb generují nejčastěji zařízení určená k fragmentaci materiálu. Tyto zařízení se nazývají mlýny a drtiče. Typem vygenerovaných sil jsou tlak, náraz, abrazivní působení nebo řezání. (20)

5.1.2.1. Drtiče

Drtiče mají horní hranici velikosti rozpojovaných zrn nespécifikovanou jsou ovlivňovány pouze technologickými možnostmi jednotlivých drtičů. Dolní hranice je specifikována velikostí zrn pod stanovenou hranici, kdy se z procesu drcení stává proces mletí. (21)

Typy drtičů

Typy drtičů, které jsou využívány ve zpracovnách elektroodpadu. Zaměření je zejména na využití typy drtičů v navrhované zpracovatelské lince.

Čelist'ové drtiče

U čelist'ového drtiče probíhá drcení materiálu mezi prostorem pohyblivé a nepohyblivé čelisti. Mechanická síla působí na materiál, který je deformován v podobě rozmačkávání, částečného lámání nebo roztírání. Vhodné jsou k drcení tvrdých a houževnatých hmot. (22)

Bubnové drtiče

Drcení u bubnových drtičů pracuje na principu vysoko otáčejícího pracovního nástroje v uzavřeném pracovním prostoru drtiče, jehož dnem prochází hřídel, kterou přes řemenice pohání elektromotor, umístěný vně válce. Pracovní nástroj je uchycen v tzv. hlavě umístěné na hřídeli, kde naráží ve vysoké rychlosti do drceného materiálu a tím odpadní materiál mechanicky drtí. Mezi pracovní nástroje se řadí řetěz, který je jako pracovní nástroj levný a snadno vyměnitelný. Výsledkem je vysoká účinnost drcení, s velkou efektivitou vzájemného oddělení jednotlivých materiálů nebo narušení jejich struktury. (22)

Výsledkem je drť, která je odlišná dle druhu drceného odpadu. Pokud se drtí například chladnička, z plechu je oddělen výplňový materiál PUR, který je rozdrcen na prach. Plech je natrhán a stlučen do koulí, tvrdý plast je nadrcen na kousky okolo centimetru a zalisované kousky plechu se šroubky jsou z plastu odděleny.

Drtiče jsou vhodné výhradně na drcení kompozitních materiálů, jako jsou: veškerý elektroodpad, elektromotory, recyklace ledniček. Zpracování hliníkového odpadu (hl. drcení a recyklace automobilových chladičů). (21) (23)

Válcové drtiče

U válcových drtičů je materiál drcen dvěma způsoby. Prvním způsobem je drcení mezi dvěma proti sobě se otáčejícími válci. Druhým způsobem je drcení jedním válcem pohybujícím se proti roštové čelisti, která je buď pevně upevněna nebo je pohyblivá.

Hlavním rozdělením válcových drtičů je samotný počet válců nebo tvar pracovních ploch na válci. (22)

Hojně využívaný je dvouválcový drtič s ozubením. Drtícím pracovním ústrojím jsou dva válce vybavené zuby.

Tvar a velikost zubů závisí hlavně, jestli jde o hrubé nebo střední drcení. Princip drcení je ve vtahování materiálu svou tíží a působením třením mezi oba proti sobě otáčející se válce. (22)

5.1.2.2. Mlýny

Proces zdobňování tuhých zrnitých materiálů na zrno menší než 1,25 mm je nazýván mletí. Suroviny jsou rozemlety tak, aby docházelo k uvolnění jednotlivých složek, a zároveň se zamezuje vzniku velmi malých částic, které by byly nežádoucí v další úpravě materiálu. (21)

Rozeznáváme dva typy technologií mletí. První technologií využívanou je mletí za sucha, kdy hlavním cílem je získat suchý produkt. Druhým typem je mletí za mokra, při kterém je voda využívána jako prostředek dopravy suroviny, ale zároveň je i aktivním činitelem úpravy, která má příznivý vliv na mletí. Ve zpracovnách na elektroodpad je v největší míře využíván princip mletí za sucha. (21)

Typy mlýnu

Nožový mlýn

Nožový mlýn se skládá z rotující hřídele, protilehlých statorových nožů a síta s nastavitelnou velikostí frakce. Rotující hřídel je osazena noži, které se řadí do bloků podle typu nožového mlýna. Statorové nože jsou umístěny po vnitřní obvodové části bubnové plochy mlýnu. Síto je umístěno pod pracovní částí, materiál je kinetickou silou vrhán na síto kde propadáva hrdlem do zásobníku. Princip nožového mlýna je, že přes vstupní násypku putuje materiál do mlecí komory, kde je rotorovými noži zachycen a přitlačen oproti statorovým nožům. Část materiálu je mechanicky odkrojena. Odkrajovaný materiál je v mlecí komoře rozmělnován na menší frakce, dokud materiál nepropadne

sítem s nastavenou požadovanou velikostí frakce. Rozmělněný materiál se pak shromažďuje v zásobníku pod mlecí komorou mlýna. (22)

Kladivové mlýny

Kladivový mlýn se skládá z kladiv uložených na rotoru. Protilehlá deska proti kladivům bývá vybavena pancéřovou drtící deskou. Síto je umístěno pod pracovní částí, materiál je kinetickou silou vrhán na síto kde propadává hrdlem do zásobníku. Rotor osazený kladivy je uváděn motorem do pohybu. Při dosažení optimální rychlosti vzniká na koncích kladiv dostačená kinetická energie, která nárazem kladiv rozrušuje materiál na menší frakce. (22)

5.1.3. Separace

Separací proces je založen na klasifikaci jednotlivých separovaných částic dle velikostí fragmentu. Běžně je separace zařazena za procesem mechanického rozmělnění. (22)

5.1.3.1. Prosévání

Patří k jednomu z nejpoužívanějších forem separace rozmělněného materiálu. Princip spočívá v postupné dopravě rozmělněného materiálu do místa se síty. Pracovní prostor síta je z perforovaného povrchu, po kterém se rozmělněný materiál pohybuje. Perforovaný povrch obsahuje otvory o stanovené velikosti dle požadavků na velikosti fragmentů. Menší částice propadávají otvory, částice větší než je nastavený otvor zůstávají na povrchu síta. Tento proces odděluje jednotlivé částice pouze podle velikosti. (20)

Roštové separátory

U roštových separátorů je využití především k oddělení větších kusů materiálu od jemnějších frakcí. Provedení roštových separátorů bývá dvojího typu a to separátor s rošty nepohyblivými a pohyblivými. (22)

Nepohyblivé rošty jsou složeny z tyčí vzájemně mezi sebou spojených nakloněných do úhlu pro docílení kluzu materiálu po roštech. Mezery mezi rošty jsou propadové plochy, kde dochází k oddělování jemných frakcí od větších kusů. (22)

Pohyblivé rošty jsou tvořeny pohyblivou částí tvořenou z poháněných hřídelí, na kterých je pevně upevněn odvalovací adaptér v podobě kotoučů, trojúhelníků. Při pohybu hřídelí je materiál posouván v před a malé frakce propadávají mezi rošty. (22)

Sítové separátory

Sítové separátory jsou vyráběny z perforovaných materiálů o určité okatosti síta. Součet všech ploch okatosti síta ku poměru celkové plochy síta je nazýván propadová plocha. Tato plocha nám udává rychlost a výtěžnost materiálu, se kterou je tříděn. (22)

Vibrační separátor

Na pracovní prostor síta je vyvinut oscilační pohyb o určité frekvenci, který působí směrem kolmo na desku síta. Dochází k pohybu jednotlivých rozmělněných částic, které propadávají otvory. Tento způsob lze uplatnit u jemných a hrubších částí od 200 mm až do velikosti 0,1 mm. (22)

Bubnové separátory

Jde o síta z perforovaných plechů tvářených do válce nebo do kužele. Síta bubnových separátorů jsou spojena s hřídelí k motoru, který otáčí celým sítem. Výtěžnost síta je v daném okamžiku vzhledem k otáčení celé plochy síta zmenšena na 1/6. Vhodné jsou třeba na separaci neželezných materiálů na konci procesu, kde využijeme bubnový separátor stupňový na rozdělení frakcí dle okatosti. (22)

Vibrační stroje se vstřikováním vzduchu

Jedná se o separátor vybavený sítem a zařízením vhánějící vzdušné médium do uzavřeného prostoru. Převážné využití je v procesu oddělení prašných částic z drobnějších frakcí. (22)

Prosévání je ovlivněno několika faktory, které ovlivňují kvalitu a rychlost separace. Těmito faktory jsou stav materiálu vstupujícího do síta, vlastnosti zařízení na separaci a aplikovaný pohyb na povrch síta

Hlavní faktory ovlivňující prosévání z pohledu materiálu:

- hustota
- velikost částic
- tvar částic
- povrch částic

Hlavní faktory ovlivňující prosévání z pohledu zařízení:

- velikost síta
- procentní zastoupení perforované plochy
- průměr otvorů
- tvar otvorů
- tloušťka síta

Hlavní faktory ovlivňující prosévání z pohledu pohybu:

- frekvence
- amplituda a směr vibrací
- úhel sklonu
- doba zpracování (20)

5.1.3.2. Separace hustotou

Separace hustotou je založena na fyzikálním procesu rozdílných rychlostech sedimentace materiálů nebo konečná rychlost částic. Principem je separace materiálů podle různých denzit, velikostí a tvarů materiálu. Mechanismy procesu jsou sedimentační rychlost diferenciálního zrychlení, rozdílná rychlost v laminárním proudění, interstiální konsolidace a účinek smykových sil.

Využití separace hustotou lze použít u techniky obsahující polymery s hustotou pod 2 g.cm^{-3} , lehkých kovů jako je hliník s hustotou pod $2,7 \text{ g.cm}^{-3}$, a u těžkých kovů hustotou větší než 7 g.cm^{-3} , především se jedná o Cu, Fe, Ni a Pb.

Ve velké míře jsou materiály zakomponované do jednoho celku, proto je třeba prvky dodatečně rozmělnovat nebo kombinovat separační procesy. Vhodné k třídění neželezných kovů jsou vzduchové separátory, u kterých byly použity procesy s hustým prostředím a koncentrátory. (20)

Hlavními procesy separace hustoty jsou separace hustého média, suspenze, koncentrátory vzduchu a tekoucího filmu. (20)

5.1.3.3. Magnetická separace

Založena na zařízeních vytvářející magnetického pole. Působením magnetického pole jsou přitahovány materiály s podílem feromagnetických a paramagnetických látek. Materiály zcela bez magnetických vlastností nejsou přitahovány magnetickým polem a pokračují bez zásahu dále v procesu. (20)

Bubnové magnetické separátory

Pomaloběžný otáčející se buben se staticky umístěným elektromagnetem vně bubnu. Skrze násypku propadá dopravený materiál k bubnu. Působením magnetického pole je materiál zachycen k bubnu a dopraven do jímky, kde už nepůsobí magnetické pole na separovaný materiál. Nezachycený materiál se odvaluje po bubnu dále v procesu. Vhodným příkladem použití je využití magnetického separátoru u linek, ve kterých jsou třeba zařízení na separaci diamagnetického materiálu. (1)

Pásové magnetické separátory

Jedná se o kombinaci dopravníku přivádějícího materiál k separaci a nad ním uložený magnetický separátor zachycující magnetické části. Materiál je přiváděn pod pól magnetu a magnetické části jsou přitahované vzhůru k magnetickému dopravníku, který odvádí materiál mimo dosah magnetického pole. (1)

5.1.3.4. Elektrostatická separace

Základem elektrostatické separace je využití rozdílné elektrické vodivosti jednotlivých zpracovaných fragmentů, na které působí elektrické pole.

Priváděný rozdružený materiál je buď elektrický vodivý, nebo elektricky nevodivý. Důležitými parametry jsou odpovídající elektrické pole o dostatečné intenzitě, aby dokázalo oddělit separovaný materiál a vhodný druh materiálu se schopností nabývat povrchového napětí k odpuzování nebo naopak přitahování nabitých částic. (20)

Bubnový elektrický separátor

Skládá se z násypky vedoucí do rotoru bubnu, na který je přivedeno napětí o kladně nabitým elektrickým nábojem. Proti kladně nabitému válci je záporně nabitá elektroda. Intenzita elektrického pole má za následek, že vstupující nabité částice se pohybují proti směru shodně nabité elektrody. Elektricky vodivé fragmenty přivedené do prostoru elektrického pole jsou nabity souhlasným nábojem. Platí pravidlo, že látka s větší dielektrickou konstantou nabývá kladný náboj, látka s nižší konstantou náboj záporný. Částice nabité stejným nábojem jako je povrch válce, na něj je přiváděno elektrické napětí, jsou odpuzovány a končí ve vzdálenější jímce na separované elektricky vodivé materiály. Napětí se může pohybovat od 25 až 35 kV. Nevodivé fragmenty se odvalují po válci a padají gravitační silou do jímky určené pro nevodivý materiál. (20)

Eddy current

Separace vířivými proudy pracuje na principu proměnného magnetického pole. Ve vodivých částicích neželezných kovů dochází k vytvoření magnetického pole kolem částice. Polarita tohoto pole je stejná jako polarita magnetu, což způsobuje odpuzování materiálu. Nabité kovové neželezné částice jsou vychylovány, zatímco nevodivé částice nejsou nijak ovlivňovány. Tvoří se dva proudy materiálu, což umožňuje jejich oddělení. (20)

Účinnost je závislá na faktorech, kterými jsou mechanismus vytvářející povrchový náboj. Vhodné operační podmínky stroje odvíjející se od čistoty zařízení a vstupních frakcí, ovlivňující je vlhkost a prach působící na vodivost vzduchu a má zásadní vliv na kvalitu separace. (20)

5.2. Hydrometalurgické metody zpracování

Metoda pracuje s rozpustností pevných látek v kapalném médiu. Míra rozpustnosti mezi pevnou a kapalnou složkou látek je dána chemickým složením a vzájemným působením látek mezi sebou. Loužení se využívá při získávání drahých kovů z elektroodpadu. Chemickému loužení nejčastěji předchází mechanická úprava a čištění získaných frakcí materiálu. Odseparované výluhy se zpracovávají k dosažení čistého kovu, pomocí reakcí srážení, filtračním procesem, destilací, kapalinovou extrakcí, cementací a membránovými procesy. (20)

Kyseliny a alkalické loužení

Loužení je proces oddělení rozpustné složky od pevné látky za pomoci rozpouštědla. Rozpouštědlo reaguje s pevnou látkou a nastává reakce mezi rozpouštěnou látkou a rozpouštědlem. Rozpouštěná látka difunduje z původního materiálu do složky rozpouštědla a tím dochází k očištění původního materiálu. (20)

Kyseliny se používají k oddělení nežádoucích složek od vybraných kovů jako je měď. Kyseliny využívané v procesech jsou kyselina chlorovodíková (HCl), kyselina sírová (H₂SO₄), kyselina dusičná (HNO₃), kyselina chloristá (HClO₄) a chlornan sodný (NaClO). Využívá se také peroxid vodíku, který je silným oxidačním činidlem, proto je kombinován s kyselinami pro zlepšení louhovacího výkonu. Hlavními faktory ovlivňující průběh loužení:

- a) Velikost částic
- b) Rozpouštědlo
- c) Teplota
- d) Míchání louhu

K získání drahých kovů z odpadu jako je zlato, stříbro a paládium jsou využívány látky kyanid, halogeny, Thiourea a Thiosulfat. (20)

Metody jsou široce využívány při získávání drahých kovů z desek plošných spojů získaných z PC a jiné informační techniky. (20)

Biologická metoda loužení

Užití procesů založených na chemických nebo fyzikálních interakcích mezi mikroorganismy, vedlejšími produkty a substráty. (20)

Biochemické zpracování, při kterém dochází k solubilizaci kovů z anorganických zdrojů působením mikroorganismů. Biochemické zpracování se například dosti využívá při získávání zlata a mědi z rud. (20)

V industriální sféře k získávání drahých kovů ze zpracování elektroodpadu tyto techniky zatím zcela nevyužívají díky časové náročnosti. (20)

Metoda cementace

Velmi využívanou metodou získání čistého kovu z postupu louhování je cementace. V hydrometalurgických procesech se používá cementace k vysrážení kovu do roztoku jeho solí a přechodem na jiný kov, který má elektro pozitivnější náboj. Mezi elektrodou a roztokem vznikne rozdíl potenciálů. Při rozpouštění kovů přecházejí do roztoku jen kladné ionty a elektroda se nabíjí záporně. V blízkosti elektrody se roztok nabíjí kladně a kladný náboj je elektrostaticky přitahován k záporně nabitou elektrodě. Tím se dá separovat přenosem z mixu rozdílných kovů ponořených do rozpouštědla, tvořeného roztokem daného materiálu kovu, na záporně nabitou elektrodu. (20)

Cementace je široce používána jako primární metoda získávání kovů, jako jsou kadmium, měď, zlato, stříbro a jako technika čištění elektrolytů v elektrolytických procesech. (20)

Rozšířeným procesem cementační operace je použití zinkového prachu k vysrážení zlata a stříbra z kyanidových roztoků anebo použití železa k získání mědi z roztoků obsahujících měď. (20)

5.3. Elektrometalurgické metody zpracování

Elektrolytické získávání je používaný postup k získání zlata, stříbra, mědi, zinku, niklu, manganu a kadmia za působení elektrochemických procesů. Základním zařízením v procesu je elektrolytický článek, který se skládá z inertní anody, jako je olovo nebo titan, a katody, která je buď tenká deska z čistého kovu nebo deska vyrobená z nerezové oceli nebo hliníku. Článek se ponoří do vodného roztoku jodidu a hydroxidu draselného. Na elektrolytický článek se přivádí vnější napětí, aby článkem protékal proud a tím docházelo k elektrolyze mezi elektrodami. Kovové ionty v roztoku se ukládají na katodě, kde dochází k redukci. Na anodě se uvolňují plyny a dochází k oxidaci. (20) (24)

Metody se využívají na získávání neželezných kovů z desek čištěných spojů, mixů elektrického šrotu a dalších materiálů s povrchovou úpravou, ze kterých lze získat požadovaný materiál. (20)

5.4. Pyrometalurgické metody zpracování

Metody pyrometalurgické zpracování využívají procesů pyrolýzy, tavení, spékání a reakce s plynnou fází za vysokých teplot. Získávání ušlechtilých kovů pyrometalurgickými metodami se neodlišuje od procesu používaných při zpracování meziproduktů s obsahem ušlechtilých kovů z prvovýroby neželezných kovů z koncentrátů. Organické složky se v pyrometalurgickém zpracování spálí a tím dochází k jejich odstranění. (20)

5.4.1. Tavení

Zpracování elektrotechnických součástek probíhá mísením s roztaveným olovem. Dochází k vyhoření plastů, železo a část barevných kovů plave na povrchu taveniny. Do roztaveného olova přechází většina ušlechtilých kovů. Tavenina se následně ochlazuje vzduchem, kde většina olova a obecných kovů zoxiduje a odstraní se jako struska. Část olova obohacená o drahé kovy se přesune k rafinaci. (24)

Výhodou tavicích procesů je schopnost zpracovat všechny formy elektronického odpadu. Nevýhodou je malá ekologická šetrnost, problém s plyny z hoření plastů a nutnost odstranění strusky s obsahem těžkých kovů. (24)

5.4.2. Termické spálení v pyrolýzní peci

Využívají se pro tyto účely rotační pece. Šnekovým podavačem se rozmělněné komponenty dávkuje do pece spolu s koksem. Čištění plynu se provádí ve Venturiho pračkách s přidavkem hydroxidu vápenatého. Pevné produkty procesu jsou složeny ze směsi železa, neželezných kovů, skelných vláken s koksem a keramiky. (25)

5.4.3. Metoda s plynnou fází

Zpracování drcených elektronických součástek. Metoda chlorací plynným chlórem při teplotě 500 °C a době působení chlorace kolem 20 minut. Výsledným produktem je chlorid zlatitý (AuCl_3). (20)

5.5. Dopravníky

Dopravník je důležitým prostředkem zprostředkovávající kontinuální dopravu různého druhu materiálů. Kombinováním vhodných metod dopravníků a zařízení na zpracování odpadu dochází ke zvýšení automatizace celého procesu. Kombinace těchto zařízení vzniká linka schopná variabilního a ustáleného provozu. (26)

5.5.1. Vibrační dopravníky

Použití vibračních dopravníků je zaměřeno na čištění, třídění a dávkování sypkých materiálů. Využití je vhodné pro materiály s nízkým obsahem vlhkosti. Využívají pohybu ve vodorovném nebo mírně nakloněných rovinách při úhlu do 4 až 5°. Vibračního pohybu je docíleno za pomoci klikového nebo výstředníkového mechanismu. Kmitání desek pohybuje s přepravovaným materiálem v požadovaném směru. Vibrační dopravníky využívají k dopravě materiálů setrvačných sil, které působí na jednotlivé částice materiálu.

Tyto síly vznikají harmonickým kmitavým pohybem žlabu, čímž dochází k oddělení částic materiálu od žlabu a k jeho samotné dopravě. Mechanismus stroje je složen z rámu, dopravního žlabu, pohonu, uložení a síta. (26)

5.5.2. Šnekové dopravníky

Šnekové dopravníky se vyznačují jednoduchou konstrukcí. Výhody šnekových dopravníků jsou v možnosti výběru libovolného místa plnění a vyprazdňování. Mají možnost úplného zakrytí šneku, a tím zamezení prašnosti provozu. Jsou vhodné pro přepravu sypkých, práškových, zrnitých materiálů na kratší vzdálenosti, řádově jednotky až desítky metrů. Materiál se může pohybovat ve vodorovném, šikmém a svislém směru. (26)

Skládají se ze šneku, dopravního žlabu nebo trubky, z pohonného ústrojí, násypky a výstupního otvoru. Otáčením šneku se přepravovaný materiál posunuje ve žlabu. Dopravní šnek tvoří hřídel, na němž je upevněna levotočivá nebo pravotočivá šnekovice. Ta může být plná, obvodová nebo lopatková. (26)

5.5.3. Pásové dopravníky

Univerzální použití v přepravě materiálů s různými vlastnostmi. Pásové dopravníky se používají k přepravě sypkého, kašovitého, kusového materiálu. Přeprava probíhá buď ve vodorovném směru, nebo mírně šikmém. (26)

Pásový dopravník se skládá z nosného rámu, na jehož konci je hnací a koncový buben, a z nekonečného pásu, který spočívá na nosných kladkách nebo kluzných lištách. Další konstrukční prvky, jako čistič pásů, zařízení pro vedení pásu, plnicí skříň, vymežovací lišty, nástavby, zařízení pro rovnání vrstvy materiálu, podvozek, napínací zařízení apod., zvyšují provozní spolehlivost nebo rozšiřují oblast použití těchto dopravníků. (26)



Obr. 4 Pásový dopravník STANDARD od společnosti JVM metal s.r.o.

5.6. Spalování

Technologie spalování pracuje s širokou škálou odpadů, které díky svým vlastnostem lze přeměnit na zdroj tepelné energie. Odpad, který se stane palivem je charakterizován schopností samostatného hoření pouze za předpokladu dostatečného podílu hořlaviny. Nespalitelné části paliva jsou popel a vlhkost tvořící určitý procentní podíl. Při dosažení vyššího procentního zastoupení nehořlavých složek dochází k zamezení samotného hoření. K navrácení vlastností samotného hoření je nutné dodat do paliv stabilizační palivo, která navrátí procentní zastoupení hořlaviny do stavu samostatného hoření. (25)

Materiál je složený z těchto parametrů:

- 1.** Obsahu hořlaviny
- 2.** Obsahu popela
- 3.** Obsahu vlhkosti

6. Organizace elektroodpadu

Společnosti produkující elektrozařízení v České republice jsou zákonem vázány ke zpětnému odběru výrobků. Zpětným odběrem použitých elektrozařízení jsou vázány **právnícké osoby** nebo **fyzické osoby**, které jsou oprávněné k podnikání v České republice, vyrábějící nebo uvádějící na trh výrobky od zahraničního výrobce. Podle zákona § 12 **zákona č. 542/2020 Sb.** (2)

Seznam výrobců elektrozařízení je ve správě Ministerstva životního prostředí. Všechny fyzické i právnícké osoby zapsané v tomto seznamu jsou vázány zákonem a mají povinnostmi dodržovat podmínky nakládání s elektroodpadem. Důležitou částí je povinnost uhrazení recyklačního příspěvku, ze kterého jsou hrazeny náklady na zpětný odběr, recyklaci, opětovné použití a odbornou recyklaci elektroodpadu. Výše recyklačního příspěvku závisí na náročnosti zpracování elektrospotřebiče a jeho využití. (27)

Elektrozařízení odevzdané na příslušném odběrovém místě se dostává do systému kolektivního zpětného odběru (dále SKZO). Tento systém je složen ze společností oprávněných k provozování SKZO. Společnosti jsou zapsány v seznamu MZP o Kolektivní systémy OEEZ. Společnosti oprávněné k manipulaci s elektroodpadem, převezou ze sběrných míst elektrospotřebiče do zpracovatelských zařízení, kde nastává proces třídění a recyklace. (2)

Cyklus výroby



Obr. 5 Cyklus výroby

6.1. Společnosti zpracovávající elektroodpad na území ČR

Společnosti zabývající se zpracováním elektroodpadu v České republice jsou složeny z právnických osob věnujících se získáváním druhotných surovin ze zpracování elektroodpadu, které následně prodávají. Prodej druhotných surovin společnosti umožňují přímo samy ve svých zpracovatelských závodech nebo smluvně s domluvenými odběrateli. Odběratelé jsou ve velké míře firmy, které se zabývají výrobou z recyklovaného zboží. Může se jednat o výrobce nových plastových výrobků, výrobce fólií, výrobci preforem nápojových obalů, výrobci výrobků ze směsných plastů, stavební průmysl, šperkařský průmysl. Dalšími společnostmi figurujícími ve zpracování elektroodpadu jsou firmy specializující se na výrobu a servis zpracovatelských linek. Společně tvoří komplexní systém efektivního zpracování elektroodpadu a využití druhotných surovin. (28)

6.1.1. Asociace recyklátorů elektroodpadu na území ČR

Jedním ze spolků sdružující společnosti zabývajících se recyklací elektroodpadu na území ČR je AREO. Působení toho spolku má za cíl společně diskutovat a následně jednotně formulovat svá stanoviska v legislativní a technické oblasti s cílem být platným partnerem a oponentem při tvorbě nových zákonů, vyhlášek a norem dotýkajících se oblasti nakládání s elektroodpadem. Spolupracovat s kolektivními systémy za účelem efektivního sběru, svozu a zpracování OEEZ. (28)

Členové AREO:

KOVOHUTĚ PŘÍBRAM NÁSTUPNICKÁ, a.s.

Společnost Kovohutě Příbram je zapojena do systémů zpětného odběru a odděleného sběru elektroodpadu. Zpracovává a nabízí tak výrobcům, dovozcům a firmám zpracování, využití a odstranění vysloužilých výrobků. V provozu využívá technologickou linku na zpracování odpadů z elektrických a elektronických zařízení s kapacitou až 10 500 t/ročně. Za jeden den je tak tato linka schopna při třisměnném provozu zpracovat elektroodpad o kapacitě 2 (t.hod⁻¹). (29)

Hutnický závod recykluje také odpady s obsahem olova, kam patří z 80 % staré, vyřazené olověné autobaterie. Vyrábí olovo a jeho slitiny a také výrobky z olova a cínu. (29)

AVE SERVICE, s.r.o.

Skupina AVE patří mezi vedoucí společnosti na trhu zabývajících se nakládáním s odpady. Mezi činnosti společnosti AVE CZ patří svoz a odstranění komunálního a živnostenského odpadu, svoz a využití tříděného odpadu (separovaných složek odpadu), výkup tříděného odpadu / zpracování druhotných surovin, svoz a odstranění nebezpečných odpadů a další. (30)

Ve velkém AVE CZ zpravuje provoz sběrných dvorů na území celé České republiky.

Na těchto místech mohou občané ukládat odpad, který nepatří do běžného komunálního odpadu jako je elektroodpad, autobaterie, železný odpad a barevné kovy. (30)

PRAKTIK SYSTEM, s.r.o.

Zpracovatel elektroodpadů a plastů na kvalitativní úrovni vrchních evropských zpracovatelů elektroodpadů. Cílem společnosti je maximální využití získaných surovin, pro které hledá uplatnění po celé Evropě. V České republice má Praktik 3 pobočky, ve kterých pracuje přibližně 100 zaměstnanců. Společnost má 2 hlavní zpracovatelské programy s celkovou kapacitou 50.000 tun/rok. Hlavní zaměření na recyklaci elektroodpadů je z chlazení, velkých a malých domácích spotřebičů, televizí, IT. Recyklace plastových odpadů zpracovává z plastu lednic a velkých spotřebičů, plastů z automobilového průmyslu, konkrétně přístrojové desky, nárazníky. (31)

RECYKLACE EKO VUK, a.s.

Společnost RECYKLACE EKO VUK, a. s. prodejem zbylých akcií se stala dceřinou firmou společnosti Kovohutě Příbram nástupnická, a. s., kde slouží jako hlavní zpracovatel světelných zdrojů. Zpracovává svítidla a světelné zdroje jako jsou zářivky, úsporky, výbojky či zařízení pro šíření či řízení osvětlení, dále také klasické žárovky a další odpady s obsahem rtuti. (29)

RUMPOLD-T/CHRÁNĚNÁ DÍLNA/, s.r.o.

Skupina Rumpold poskytuje komplexní služby v oblasti nakládání s odpady jak pro města a obce, tak i pro průmyslové podniky, živnostníky, včetně obchodních řetězců. V portfoliu firmy jsou činnosti sběr, svoz a transport všech druhů odpadů, který je zajišťován moderní technikou. Společnost klade důraz na materiálové i energetické využití odpadů. Společnost provozuje zařízení na třídění a úpravu odpadů, biodegradační plochy, kompostárny, solidifikační jednotku, závod na výrobu tuhých alternativních paliv, atd. Zpracování elektroodpadu probíhá hlavně u chladících zařízení ve skupině malých a velkých spotřebičů. Mezi další zpracovaný elektroodpad patří televizory a monitory, počítače, mobilní telefony, zářivky a baterie. (32)

STEELMET, s.r.o.

Společnost má oprávnění ke sběru, výkupu, úpravě a zpracování elektroodpadu v souladu se zákonem č. 185/2001 Sb. všech skupin elektrozařízení dle přílohy č. 7 zákona č. 185/2001 Sb. s výjimkou elektrozařízení, obsahujících látky poškozující ozónovou vrstvu (chladicí zařízení s freonovými náplněmi) a světelných zdrojů (zářivky, výbojky). Provozovna má pro tuto činnost k dispozici technologie, které jsou plánovitě doplňovány a modernizovány tak, aby byl naplněn hlavní cíl chráněné dílny. Roční kapacita zpracovaného OEEZ je až 2.000 tun. (33)

V roce 2019 společnost uvedla do provozu jedinečnou linku na strojní zpracování tzv. velkých spotřebičů (s výjimkou zařízení pro tepelnou výměnu). (33)



Obr. 6 Provozovna STEELMET

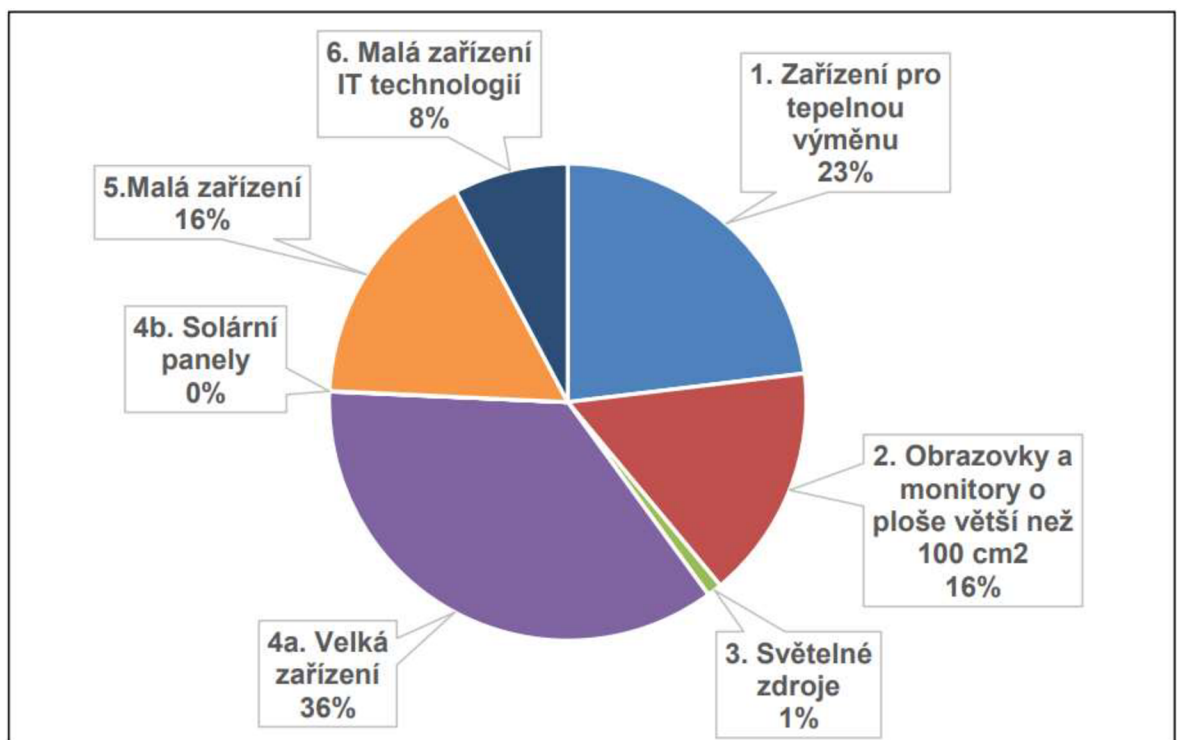
7. Vlastní práce

Vlastní část práce se bude dělit mezi návrh zpracovatelské linky a posouzení materiálu z elektroodpadu v energeticky využitelném prostředí.

7.1. Výchozí data k návrhu linky

Z údajů MZP byl zjištěn procentuální podíl jednotlivých skupin zpětně odebraných elektrozařízení a odděleně sebraných elektroodpadů na celkovém množství sebraných elektroodpadů v roce 2019 v České republice. Z grafu byla vyhodnocena skupina vhodných zařízení pro zpracování.

Graf 1 Zpětného odebraného elektrozařízení a oddělených sebraných elektroodpadů na celkovém množství sebraných elektroodpadů



Zpracovaná zařízení budou z kategorií:

1. Zařízení pro tepelnou výměnu
2. Obrazovky, monitory a zařízení obsahující obrazovky o ploše větší než 100 cm²
4. Velká zařízení
5. Malá zařízení
6. Malá zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení

Velká a malá zařízení- domácí spotřebiče, spotřební elektroniku,

Zařízení pro tepelnou výměnu- chladničky, mrazničky, klimatizace výdejní automaty chlazených nápojů.

Obrazovky, monitory a zařízení obsahující obrazovky o ploše větší než 100 cm²- monitory, televize, tablety, notebooky, čtečky knih, vyřazené kabely

Zařízení nezpracovávaná v navržené zpracovatelské lince

3. Světelné zdroje

Baterie a odpady z fotovoltaických panelů

7.2. Návrh zpracovatelské linky

Návrh zpracovatelského linky bude široce zaměřeným technologicky zpracovatelským komplexem. Plán na se bude skládat ze vstupních informací provedených nezávislým šetřením. Hlavní plán výroby je nastaven na horizont jednoho roku. Jedná se o novou zpracovatelskou linku, proto se prvním rokem budou vyhodnocovat úzká místa. Při návrhu je důležité pamatovat na celé komplexní složení zpracovny kombinující logistické, úpravnické a manažerské operace.

Logistické operace budou obsahovat na počátku zajištění dovozu elektroodpadu do skladovacích prostor a řízení skladové politiky.

V další etapě se logistika stará o výstupní produkty vzniklé z procesů úpravnictví. Výstupními produkty jsou vyseparované druhotné produkty vhodné k znovupoužití a odpady určené k zneškodnění. Logistický proces je důležitým článkem řetězce mezi dodavateli a odběrateli.

Úpravnické procesy obsahují důležitou část zpracování vstupních produktů roztríděných ve skladovacích blocích. Řada technologických postupů a techniky formuje zpracovatelskou linku. Dochází ke zpracování materiálu do formy vhodné k manipulaci a vyzískání hodnotných složek.

Manažerské operace jsou v celém systému řídicí prvek, který slouží k efektivnímu fungování úpravnických a logistických operací jako celku. Rozhodují o plánování zpracovatelských kapacit, časovém harmonogramu mezi operacemi a řízení lidského kapitálu.

7.2.1. Lokace

Umístění zpracovny bylo vybráno v Ústeckém kraji. Výměra pozemku na areál společnosti je odhadován na 32 000 m². Průměrná cena pozemku za rok 2021 se pohybuje v Ústeckém kraji 1600 Kč za metr čtvereční.

Výhody:

- strategické umístění blízko hranice s Německem a Polskem
- nízké provozní náklady
- spalovna Termizo, a.s. - Liberec
- nižší počáteční investice

7.2.2. Lidský kapitál a provoz

Tab. 3 Lidský kapitál

				Hrubá mzda [Kč.měs-1]
Lidský kapitál:	Řídící pracovníci	2	[-]	67 000
	Vedení společnosti	1	[-]	78 000
	Servisní pracovníci	3	[-]	40 000
	Pracovníci na manuální činnost	24	[-]	28 500
	Operátoři	4	[-]	37 000
	Logistika	2	[-]	45 000
	Finanční oddělení	2	[-]	48 000
	Softwarový specialisté	2	[-]	59 000
	Celkový počet	40	[-]	402 500
Pracovní režim:	Jednosměnný	2080	[hod.rok-1]	
	Dvousměnný	4030	[hod.rok-1]	
Roční pracovní fond zaměstnance:	Jednosměnný	2080	[hod]	
	Dvousměnný	2015	[hod]	

Linka je nastavena na možnosti fungovat jak v jednosměnném, tak ve dvousměnném provozu podle plánovaného vytížení linky.

- Jednosměnný režim 40 hodin týdně na pracovníka
- Dvousměnný režim 38,75 hodin týdně na pracovníka

V prvním čtvrtletí 2021 dosáhla průměrná hrubá měsíční nominální mzda v Ústeckém kraji v přepočtu na plně zaměstnané osoby částky 33 105 Kč. (34)

Výpočet celkového počtu pracovních hodin v roce:

$$n_{hod} = n_{směny} \cdot t_{prac} \cdot n_{dny} \quad (1.1)$$

kde: n_{hod} [h.rok⁻¹] – celkový počet pracovních hodin za rok

$n_{směny}$ [-] – počet směn za jeden den

t_{prac} [hod] – délka pracovní doby

n_{dny} [-] – počet pracovních dnů v jednom kalendářním roce

7.2.3. Výkonnost linky

U návrhu je nutné určit optimální tok materiálu elektroodpadu linkou. Pracujeme s návrhem linky, která má dostatečnou logistickou podporu na dovoz elektroodpadu. U návrhu jsem pracoval s referenčními hodnotami známých zpracovatelských linek. Zpracovatelské linky v podobné velikosti a složení jsou schopny dosáhnout reálného výkonu linky 2 až 2,2 t.h⁻¹. Určenou teoretickou výkonností zpracovatelské linky bude 2,5 t.h⁻¹. Teoretická výkonnost neobsahuje mezi procesové činnosti. Vyhodnocením úzkých míst zpracovny zajistíme, aby bylo dosaženo reálného přiblížení se stanovené hranice 2,5 t.h⁻¹.

Předpokládanými úzkými místy zpracovny byly vyhodnoceny drtiče a mlýny použité ve zpracovatelských zařízeních. Jelikož drtiče a mlýny při zpracování hrají majoritní roli v počáteční fázi a odvíjí se od kvality jejich zpracování v průběhu linky. Při návrhu se tedy budou hledat ideální drtiče a mlýny, které zaručí výkonnost linky.

Při uvažované snížené efektivnosti o 15 % nastalými mezi pracovními činnostmi se lze přiblížit reálné hodnotě, od které se bude vyvíjet ekonomická analýza.

$$Q_{\text{efek}}=Q_T \cdot 0,15=0,375 \text{ [kg.h}^{-1}\text{]} \quad (1.2)$$

$$Q_R=Q_T-Q_{\text{efek}}=2,125 \text{ [kg.h}^{-1}\text{]} \quad (1.3)$$

kde Q_{efek} – množství snížené efektivity linky [kg.h-1]

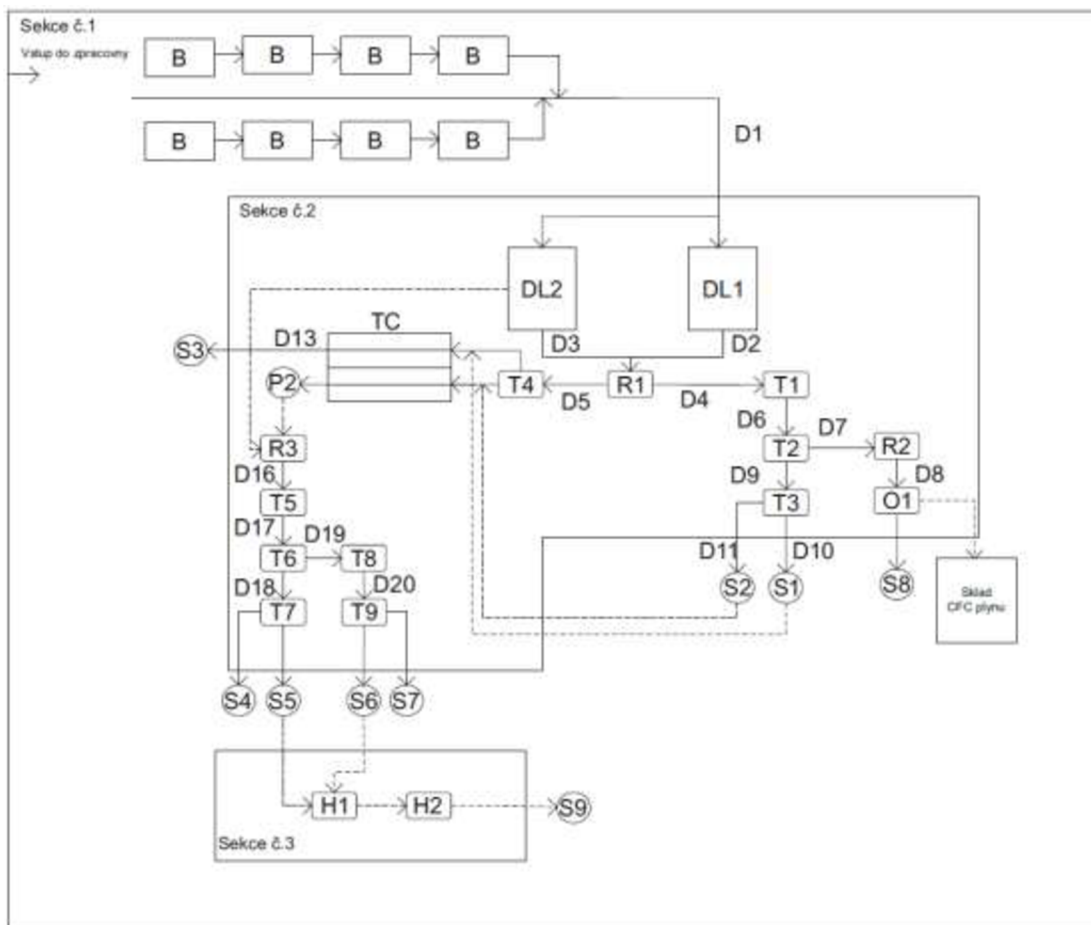
Q_R - uvažovaná reálná hodnota zpracovatelského zařízení [kg.h-1]

Q_T - uvažovaná teoretická hodnota zpracovatelského zařízení [kg.h-1]

Vybraný drtič **R1** má výkonnost 2000~3000 [kg.h-1], druhý vybraný nožový mlýn **R3** má výkonnost 1500~2500 [kg.h-1].

7.3. Podoba zpracovatelského komplexu

Podoba zpracovatelského komplexu s jednotlivými sekcemi a materiálovým tokem mezi jednotlivými zařízeními je znázorněna v blokovém schématu. Výčet jednotlivých bloků a materiálového toku je podrobně popsán v následujících podkapitolách. V poslední podkapitole jsou vypsány materiálové frakce získané na konci každého materiálového toku.



Obr. 7 Blokové schéma a materiálový tok linky

Legenda:

- | | |
|--|--|
| D- Dopravníky | P2- Kolový nakladač k dopravě vyseparovaného materiálu |
| R- Mlýny a drtiče | DL1- Demontážní linka na chladicí zařízení |
| T- Separátory | DL2- Demontážní linka na spotřební elektroniku |
| S- Sběrná místa linek | B- Bloky ke skladování elektroodpadu |
| H- Získávání drahých kovů | O- Optimalizátor PUR |
| TC- Třídící centrum | ← Značí tok materiálu pomocí pásového dopravníku |
| <- - Značí tok materiálu pomocí jiné metody přepravy | |

7.3.1. Sekce 1- Skladování a třídění

Skladovací plocha se bude skládat z venkovní plochy, která bude rozdělena do bloků (B). Určení na této ploše bude třídít odpad do jednotlivých bloků. Vážít jednotlivé přetříděné materiály bude zabudovaná váha v blocích.



Obr. 8 Zabudovaná mostní váha v blocích (B)

Venkovní plocha bude zakryta přístřeškem, jednotlivé bloky budou popsány druhem elektroodpadu, který se bude třídít. Mezi bloky bude vybudován pásový dopravník (D1) s pojezdovou hydraulickou rukou (Y1), který bude mířit do haly, která se nazývá Sekce č.2. Venkovní prostor bude vybaven portálovým jeřábem (P1).

7.3.2. Sekce 2- Technologická linka

Skládá se z demontážních prostor a z prostorů na mechanické zpracování elektroodpadu ve vnitřních prostorách.

7.3.2.1. Fáze č.1- Předzpracování a demontáž

Dopravník (D1) vcházející do haly je v hale rozdělen pomocí pneumatického vybočovače, z jedné strany je zaměřen na materiály obsahující chladicí média a nebezpečné toxické látky.

Pomocí hydraulických nůžek (Y2) dochází na demontážní hale (DL1) k odstranění kompresorů a jiných zařízení obsahující CFC plyny.

Fáze odsávání chladiva za použití vakuového odsávání (K1) z uzavřeného chladicího obvodu chladničky. V každém kusu jde o směs přibližně 115 gramů freonu (u starších typů) a zhruba 80 gramů oleje. U novějších typů lednic jsou chladiva na bázi izobutanu. Odsává se celý obsah najednou, tedy olej i chladivo a po vstupu do systému se obě složky gravitačně oddělí na chladivo a olej. Chladivo se pak vysokotlakým kompresorem zkapalní do tlakové lahve (L). Tlakové lahve jsou pak skladovány ve velkokapacitním skladu, podléhajícím bezpečnostním předpisům. Chladiva jsou dále odvezeny do spalovny k termickému zneškodnění. (32)

Dopravník (D1) mířící na druhou stranu demontážní linky (DL2) je zaměřen na materiál spotřební elektroniky, domácí spotřebiče, televize atd.

Na obou koncích těchto dopravníků dochází k demontáži vybraných částí. Zaškolený personál demontuje vybrané části zařízení, které mohou obsahovat nebezpečné látky. Vybrané lehce odlučitelné části z chladicích zařízení a spotřební elektroniky, které lze recyklovat jsou přímo manuálně vyseparované z procesu a přemístěny do finálního místa zpracování. Příkladem vybraných částí k recyklaci jsou již zmíněné kompresory, motory, plasty, kabely. Nebezpečné materiály separované z elektroodpadu jsou vyčteny v zákoně č. 541/2020 Sb.

Kabely oddělené od elektrozařízení jsou skladovány v kontejnerech. Při dosažení vysokého množství kabelových odstřížků je kontejner mechanicky dopraven k nožovému mlýnu (R3) a přes indukční separátor jsou kabely vytříděny na měděné frakce a plastové frakce.

7.3.2.2. Fáze č.2- Zmenšování a separace materiálů

Na demontážní linky navazují pásové dopravníky (D2-3), které se spojují do jednoho pásu mířícího do části na mechanické zpracování.

Prvním strojem je bubnový drtič (R1), který má za úkol přivedený částečně demontovaný elektroodpad rozrušit na menší frakce.

Elektroodpad je rozrušen na určitou velikost frakce dle výstupního požadavku. K tomuto účelu slouží vypouštěcí brána nacházející se na bubnovém drtiči.

Brána může být také v provedení jako klapka, individuálně nastavitelné doby prodlevy určují tvar a velikost dezintegrovaného materiálu. Nezbytnou součástí bubnového drtiče je automatické potlačení výbuchu. Na bubnový drtič je nainstalována HRD (High Rate Discharge), což znamená systém pro velmi rychlé hašení. Velmi rychlá detekce počáteční fáze výbuchu reaguje okamžitým vnesením hasiva do chráněného prostoru. Celý proces probíhá v řádu milisekund. Zřízení zajišťuje, aby nedošlo k poškození zařízení nebo jeho obsluhy a tím zajistilo maximální bezpečnost na pracovišti. Dopravník do bubnového drtiče také obsahuje vysoušecí obvod (V) pomocí vzduchu. (35)

Elektroodpad rozmělněný na menší frakce je následně přiveden buď do robustního šnekového dopravníku (D4) nebo na pásový dopravník (D5). Vysypání dezintegrovaného materiálu na dopravníky z drtiče je řízeno násypkou s propadem do písmena „V“. Touto násypkou jsme schopni regulovat propad do jednotlivých dopravníků. Ve směru šnekového dopravníku dopravujeme materiál z chladících zařízení do dalšího dopravníku s násypkou, která vynáší materiál do dalších fází. Ve směru pásového dopravníku dochází k dopravě elektroodpadu velkých a malých zařízení. Proces neprobíhá simultánně nýbrž na směny a plánování jednotlivých zpracovatelských kapacit.

Bubnový drtič



Obr. 9 Bubnový řetězový drtič ADuro QZ SHREDDER od společnosti ANDRITZ

7.3.2.2.1. Fáze č. 2.1 Chladicí zařízení

Šnekový dopravník (D4), který je vzduchově utěsněn, přesouvá nadrcený materiál z bubnového drtiče (R1) do části linky zaměřené na zpracování materiálu z chladicích zařízení. Polyuretanová izolační pěna je separována během hustotního separačního procesu.

Materiál se při šnekové dopravě o sebe vzájemně odírá, tvrdší a ostřejší díly drtě oddělují křehký polyuretan od podkladových materiálů a dochází k oddělení polyuretanové izolace. Dále je vybavena vibračním separátorem (T1), který rozděljuje hrubé částice (železné a neželezné materiály) od PUR.

Vibrační separátor unáší hrubé částice dále po lamelách na pásový dopravník (D6) (dále „**železné a neželezné frakce**“). PUR vyseparované části propadávají skrze síto vibračního separátoru (dále „**PUR**“).

PUR

Hrubá drť polyuretanu je pneumatickým dopravníkem (D7) přivedena do zásobníku a dále do nožového mlýna (R2), kde je namleta na moučku. Z namleté moučky se narušením struktury uvolní pórová struktura polyuretanu a freon uzavřený v pórech se uvolní. Polyuretanová moučka je přivedena pneumatickým dopravníkem (D8) do optimalizátoru (O1). Ohříváním předepsaným způsobem dochází k uvolnění freonů.

Celý systém je vzduchově utěsněn a provozován v mírném podtlaku zajišťovaném kompresorem (K2), který kontinuálně na více místech odsává definované množství vzduchu, stlačuje jej a odvlhčuje. Část odvlhčeného vzduchu, obsahující freony, zůstává v systému a zvyšuje koncentraci freonu. Vzduch, který je potřebný k zachování podtlaku, je ze systému odveden, mechanicky vyčištěn a přiveden do jednotky, kde se freony navážou na aktivní uhlí.

Neželezné a železné frakce materiálu

Další část je separace železných a neželezných kovů. Z vibračního separátoru (T1) vede pásový dopravník (D6) na hustotní pneumatický separátor (T2) umožňující navrácení části materiálu s možností obsahu zbytků PUR do prvního (D4) šnekového dopravníku, k co nejdokonalšího vytrídění PUR pěny. Vyseparovaný materiál od zbytků možných PUR částí se pásovým dopravníkem (D9) dostává do násypky vedoucí do bubnového magnetického separátoru (T3) sloužícího k oddělení kovových magnetických částí. Oddělené části jsou dopraveny pásovým dopravníkem (D10) do připraveného kontejneru na železný odpad (S1). Neželezný materiál, který projde separátorem je dále pásovým dopravníkem (D11) dopraven do určeného kontejneru na neželezný materiál (S2).

Kontejnery jsou umístěny ve venkovní části pro snazší přístup techniky a jsou umístěny pod střešní konstrukcí.



Obr. 10 Optimalizátor na PUR pěnu

7.3.2.2.2. Fáze č. 2.2 Malé a velké spotřebiče

Linka č.1

Po fázi drcení v bubnovém drtiči (R1) je elektroodpad z malých a velkých elektrozařízení přiváděn pomocí pásového dopravníku (D5) do místa separace železných a neželezných elektroodpadů. Separátor železného materiálu (T4) je situován nad pásovým dopravníkem (D5) ve vodorovném směru. Vzdálenost separátoru je kritická, aby zaručila vysoký podíl zachyceného železného materiálu.

Vyseparované složky jsou přiváděny pomocí pásových dopravníků (D5 a D13) do třídících center. Na dopravníky vedoucích do třídících center jsou napojeny pásové dopravníky (D14 a D15), jež přivádějí vyseparovaný materiál z Fáze č. 2.1. Fáze manuálního třídění má zajistit sběr nedokonale vyseparovaných částí spotřebičů u železných materiálů a také neželezného materiálu. Materiál, jenž pracovník vybral z linky jako nedokonale očištěný, je do linky navrácen k dalšímu zpracování. Pracovníci jsou školeni v rozpoznávání nevhodných složek ke zpracování a instruováni, který materiál je potřeba oddělit od hlavního zpracovatelského procesu.

Železné materiály

Vyseparovaný železný materiál pokračuje na pásovém dopravníku (D13) do připraveného kontejneru (S3). Separované magnetické železné materiály jsou následně umístěny do kontejneru a připraveny na další fázi zpracování.

Neželezné materiály

Neželezné materiály jsou následně spojeny s neželeznými frakcemi z fáze č. 2.1. Pásový dopravník (D13) přivádí složky do fáze manuálního třídění. Neželezné materiály jsou zbavovány různého druhu těsnění a nežádoucích složek pro zpracování. Využití plastů a gumy je použito k vlastnímu zpracování a prodeji. Neželezné materiály jsou po fázi ručního třídění dále unášeny pásovým dopravníkem k ploše spadu materiálu.

Linka č. 2

Dalším krokem je pomocí nakladače (P2) transportovat spadlý materiál na vymezené ploše do linky č. 2 na úpravu a třídění neželezných materiálů. Linka obsahuje násypku do nožového mlýna (R3), který rozpojuje vytríděný neželezný materiál. Rozpojené frakce za pomoci pásového dopravníku (D16) jsou přiváděny k bubnovému magnetickému separátoru (T5) sloužícího k oddělení zbylých kovových magnetických částí. Tento krok má za úkol zachytit případné železné materiály a tím předejít poškození následujícího separátoru. Frakce kompletně očištěné od nežádoucích materiálů na požadovanou velikost pokračují po pásovém dopravníku (D17) přes indukční separátor nemagnetických kovů (T6). Nekovové materiály jsou odděleny od materiálů, jež jsou schopny elektrické indukce (měď, hliník, stříbro, zlato) a propadávají do sběrného zásobníku.



Obr. 11 Nožový mlýn G80 od firmy AVIAN

Materiály schopné elektrické indukce jsou unášeny pásovým dopravníkem (D18) do části optického separátoru (T7).

Materiály, které propadly do zásobníku (nekovové povahy) jsou unášeny pásovým dopravníkem (D19) do bubnového separátoru (T8), kde jsou odděleny zbytky skla a keramiky. Na konci bubnového separátoru (T8) jsou zbylé materiály přesunuty do posledního stádia finálního rozdělení jednotlivých druhů materiálů.

Elektroodpady jsou skrze násypku dávkovány na dopravníkový pás (D18 a D20) vedoucího do optického separátoru (T7 a T9).

Materiály neželezných kovů (schopné elektrické indukce) jsou rozděleny do skupin vhodných pro zpracování. Přivedením těchto materiálů do separátoru fungujícím na principu senzorů na rozpoznávání barevných kovů dochází k druhotné separaci na jednotlivé materiály. Materiál vstupující do separátoru je pomocí optických senzorů vyhodnocován a pomocí trysek je tříděn do připravených kontejnerů (S4-5). Kontejnery jsou popsány materiálem, který bude do nich roztříděn.

Materiál s nejvyšším zastoupením je hliník a je nejlépe oddělitelný, proto bude probíhat jeho oddělení od zbytku materiálů procházejících optickým separátorem. Zbýlý materiál obsahuje drahé kovy, které budou upraveny v sekci č.3.

Materiály nekovové povahy (polymery) jsou přiváděny do optického separátoru(T9). Důvodem je finální separace desek plošných spojů a zbytkových materiálů obsahujících měď. Separované složky jsou čisté polymery a neželezné složky. Separované frakce propadávají do rozdělených kontejnerů(S6-7).



Obr. 12 Optický separátor FINDER od firmy TOMRA

7.3.3. Sekce č. 3- Tavení a tváření

Roztříděné materiály vstupují do finálního procesu úpravy. Rozdělení je provedeno na jednotlivé koncové materiály, jež jsme byli schopni vyseparovat z mechanického zpracování.

Neželezné kovy a drahé kovy jsou roztříděny z procesu na rozdělení materiálu dle optického separátoru (T7) ve skupině tvořící čistě hliníkové frakce a zbylé neželezné kovy.

Neželezné kovy jsou zbaveny keramických a plastových zbytků, které jsou pevně spojeny s drahými kovy tavením v peci (H1).

Přesunem materiálu do tavicí pece (H1) vznikne směs drahých kovů. Nežádoucí složky jsou obsaženy ve strusce, která je z čisté směsi kovů odstraněna. Následně se zpracuje tavenina z pece na pásy tvářením.

Pásy přechází do dalšího kroku a tím je elektrometalurgický proces ponoření pásů do nádrže (H2) s elektrolytem. Ponořením tělesa zpracovaného pásu elektrolýzou získáme jednotlivé složky čistého kovu.

7.3.4. Výsledný materiál

Železo (Fe)- Získání na konci třídícího centra (S3,S1), velikosti frakce 3-50 mm

Hliník (Al)- Získání na konci třídícího centra (S4,S2), velikost frakce 3-15 mm

Měď (Cu)- Získání na konci třídícího centra (S2,S5,S6), velikost frakce 3-15 mm

Stříbro (Ag)- Získání na konci třídícího centra (S5), velikost frakce do 1 mm

Zlato (Au)- Získání na konci třídícího centra (S5), velikost frakce do 1 mm

Olovo (Pb)- Získání na konci třídícího centra (S5), velikost frakce do 1 mm

Nikl (Ni)- Získání na konci třídícího centra (S5), velikost frakce do 1 mm

Pryž- Získání na konci třídícího centra (DL1,DL2,S2)

Plasty- Získání na konci třídícího centra (S2,S4)

Sklo- Získání na konci třídícího centra (T8,DL2,DL1), velikost frakce 3-15

Keramika- Získání na konci třídícího centra (T8), velikost frakce 3-15

PUR- Získání na konci třídícího centra (S8), velikost frakce do 1mm

7.4. Vlastní měření složek OEEZ

Ze separačního procesu byl vybrán vzorek zastupující elektroodpad kategorie velká a malá elektrická zařízení. Vzorek byl řádně zvážen přesnou váhou KERN PEJ 2200-2M. Vzorek byl vážen jako celek v hliníkové misce s výslednou váhou vzorku 800,90 g. Byl vážen třikrát, aby se předešlo chybě při měření. Jednotlivé části pak byly rozděleny do skupin a měřeny odděleně, k získání podílu jednotlivých složek.

Tab. 4 Složení vybraného elektroodpadu k laboratornímu měření

Vyseparované složky	Množství [g]	Procentní zastoupení [%]
Měď	42,85	5,35
Lepicí páska	2,00	0,25
Baterie AAA	13,45	1,68
Drobné elektro součástky a desky plošných spojů	33,42	4,17
Kov (převážně Fe)	303,88	37,94
Kabely s Cu jádrem	151,62	18,93
Pryž	50,69	6,33
Plasty	202,99	25,35
Celkem	800,90	100,00

Z vytríděných složek plasty tvořil 25,35 % celkové váhy vzorku. Polymery tvořené z plastů byly podrobeny zkouškám na zjištění energetického potenciálu, jež jsou materiály vytríděné z elektroodpadu schopné dosáhnout.

7.4.1. Laboratorní měření

Vytříděné vzorky byly rozděleny podle druhů plastů obsažených ve vzorcích. Mechanickou úpravou se dosáhlo velikosti frakce nepřesahující velikost 1,5 cm. Vzorky popsané a zmenšené na požadovanou velikost byly podrobeny testům v uvedených přístrojových vybaveních. Vzorek byl laboratorně testován třikrát na sebe navazujících měření, aby se předešlo k chybě při měření.

Tab. 5 Množství plastů

	Množství [g]	Procentní zastoupení [%]
Plasty celkem	202,99	100,00
PVC	170,62	84,05
PP	32,37	15,95

Elementární analyzátor CHN628 + S

Analyzátor CHN628 slouží k získání důležitých souborů prvkového složení analyzovaného vzorku. Vložení vzorku do analyzátoru dochází k postupnému spalování, kde spaliny v podobě plynného média prochází skrz indikátor. Při spalování s kyslíkem teplota dosahuje hranice 950 °C pro analýzu obsahu CHN, při stanovení S může být teplota až 1350°. Jednotlivé složky vzorku jsou vyhodnoceny v podobě údajů o obsahu uhlíku, vodíku, dusíku a síry ve vzorku. Prvkové složení paliv má vliv na veškeré stechiometrické výpočty, výpočty tepelných účinností a ztrát spalovacích zařízení a významně ovlivňuje tepelnou práci energetických zařízení. (36)

Poloautomatický isoperibolický kalorimetr LECO AC-600

Poloautomatický kalorimetr LECO AC-600 určuje spálené teplo ze vzorku vloženém do kalorimetrické bomby. Dochází k dokonalému spálení materiálu, vzniklé teplo se přenáší na vodní lázeň obklopující kalorimetrickou bombu. Výhřevnost je jedním z nejdůležitějších kvalitativních parametrů odpadní materiálu určených k energetickému využití. Výhřevnost vzorku je stanovena přesným měřením tepla uvolněného ze vzorku řízeným spalováním v uzavřeném prostředí. Uvolněné teplo je úměrné výhřevnosti analyzovaného materiálu. (36)

Analyzátor LECO TGA (Termogravimetrický analyzátor) - 701

Zařízení k měření váhových úbytků vzorků materiálů při narůstající teplotě v řízeném prostředí. Analyzátor je složen z řídicí části a pecní části, která je osazena otáčejícím se karuselem. Do karuselu se umísťují vzorky zabalené v cínovém obalu, při teplotě přesahující 350 °C odtéká cín do sběrné baňky.

Zařízení pracuje až do teploty 1 000 °C, při které jsou spalovány vzorky. Dokončená analýza spáleného tepla vyhodnotí množství popela, prchavých hořavin, vlhkosti a ztrát ze spalování materiálu. (36)

Pro dosažení výsledků z naměřených hodnot byla využita norma ČSN ISO 1928:

- Výpočet spalného tepla v bezvodém stavu Q_{sd} [MJ.kg⁻¹]

$$Q_{sd} = \frac{Q_{sm} \cdot 100}{100 - MT} \text{ [MJ.kg}^{-1}\text{]} \quad (1.4)$$

kde: Q_{sm} = spalné teplo v analytickém stavu [MJ.kg⁻¹]

MT obsah veškeré vody v palivu [% hm.]

- Přepočítání vodíku v analytickém vzorku na vodík v suchém stavu $W_{H,d}$ [% hm.]

$$W_{H,d} = \frac{W_{H,m} - MT}{8,937} - \frac{100}{100 - MT} \text{ [% hm.]} \quad (1.5)$$

kde: $W_{H,m}$ obsah vodíku v palivu v analytickém vzorku [% hm.]

MT obsah veškeré vody v palivu [% hm.]

- Přepočítání obsahu popela v suchém stavu na množství popela v analytickém vzorku $W_{A,m}$ [% hm.]

$$W_{A,m} = \frac{W_{A,d} \cdot (100 - MT)}{100} \text{ [% hm.]} \quad (1.6)$$

kde: $W_{A,d}$ obsah popela v palivu bezvodém stavu [% hm.]

MT obsah veškeré vody v palivu [% hm.]

- Přepočítání obsahu látek v analytickém stavu na suchý stav $W_{X,d}$ [% hm.]

$$W_{X,d} = \frac{100 W_{X,m}}{100 - MT} \text{ [% hm]} \quad (1.7)$$

kde: $W_{X,m}$ obsah látky v palivu v analytickém vzorku [% hm.]

MT obsah veškeré vody v palivu [% hm.]

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

$$W_{O,d} = 100 - (W_{A,d} + W_{C,d} + W_{H,d} + W_{N,d} + W_{S,d}) \quad [\% \text{ hm}] \quad (1.8)$$

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} [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]

$$Q_{Id} = \frac{Q_{Sd} - 212W_{H,d} - 0,8(W_{N,d} - W_{O,d})}{1000} \quad [\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (1.9)$$

kde: Q_{Sd} spalné teplo v bezvodém stavu [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$]

$W_{H,d}$ 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)

$$Q_{Im} = \frac{(Q_{sd} - 212W_{H,d} - 0,8(W_{O,d} + W_{N,d})) \cdot (1 - 0,01M_T) - 24,43M_T}{1000} \text{ [MJ.kg}^{-1}] \quad (1.10)$$

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.]

Chemické složení vybraných plastů podrobených laboratornímu měření a zastoupení jednotlivých složek:

- Polyvinylchlorid (PVC)

$$(C_2H_3Cl) = 2 \cdot M(C) + 3 \cdot M(H) + M(Cl) = 62,45 \text{ [g} \cdot \text{mol}^{-1}] \quad (1.11)$$

$$\frac{M(C)}{M} \cdot 100 = \frac{12}{62,45} \cdot 100 = 19,215,2 = 38,43\% C \quad (1.12)$$

$$\frac{M(H)}{M} \cdot 100 = \frac{1}{62,45} \cdot 100 = 1,601,3 = 4,803\% H \quad (1.13)$$

$$\frac{M(Cl)}{M} \cdot 100 = \frac{33,45}{62,45} \cdot 100 = 56,765\% Cl \quad (1.14)$$

- Polypropylen (PP)

$$(C_3H_6) = 3 \cdot M(C) + 6 \cdot M(H) = 42 \text{ [g} \cdot \text{mol}^{-1}] \quad (1.15)$$

$$\frac{M(C)}{M} \cdot 100 = \frac{12}{42} \cdot 100 = 28,571,3 = 85,714\% C \quad (1.16)$$

$$\frac{M(H)}{M} \cdot 100 = \frac{1}{42} \cdot 100 = 2,38,6 = 14,286\% H \quad (1.17)$$

7.4.2. Naměřené hodnoty

Za použití normy ČSN ISO 1928, byly dopočítány výsledky získané z uvedených přístrojových vybavení.

Tab. 6 Výsledné laboratorní hodnoty

	Vlhkost (% hm)	Popel (% hm)	Uhlík (% hm)	Vodík (% hm)	Chlór (% hm)	Spalné teplo (MJ.kg-1)	Výhřevnost (MJ.kg-1)
PP	0,34	2,11	83,61	13,98	0	45,24	42,28
PVC	0,83	2,51	37,15	4,73	54,87	22,73	21,73

Polyvinylchlorid (PVC)

Polyvinylchlorid je jeden z nejrozšířenějších plastů. PVC má velmi dobré mechanické vlastnosti, elektroizolační vlastnosti a dobrou chemickou a tepelnou odolnost. (37)

V praxi se setkáváme s druhem PVC-U (tvrdý typ), PVC-P (měkčený tvrdý typ) a PVC-C (chlorovaný tvrdý typ). PVC se využívá pro výrobu izolace vodičů a různých typů krytů k el. zařízením. (38)

Polypropylen (PP)

Polypropylen jako PVC je jedním z nejrozsáhlejších plastů. PP má dobrou chemickou a mechanickou odolnost. Je odolný vůči olejům, kyselinám, rozpouštědlům, solím a zásadám. Nevýhodou je, že při nízké teplotě dochází k jeho křehnutí. Díky své nízké hustotě se využívá k výrobě fólií a obalového materiálu. (38)

7.4.3. Výpočet dodávaného výkonu

Při použití ve spalovnách k účelu dodání tepla do domácností jsme si vypočítali dodávaný výkon získaný z výsledku měření. Výhřevnost paliva udává, kolik dostaneme tepelné energie úplným spálením jednotky paliva. K určení spotřeby energie se používá jednotka kilowatthodina (kWh), která určuje množství spotřebované energie za jednotku času. (39)

Výhřevnosti:

- PP má výhřevnost 42,28 [MJ.kg-1]
- PVC má výhřevnost 21,73 [MJ.kg-1]

Pro přepočítání energie J na kWh použijeme převod: $1 \text{ J} = 2,778 \times 10^{-7} \text{ kWh}$

$$PP = (42,28 \cdot 10^6) \cdot (2,778 \cdot 10^{-7}) = 11,745 \text{ [kWh]} \quad (1.18)$$

$$PVC = (21,73 \cdot 10^6) \cdot (2,778 \cdot 10^{-7}) = 6,036 \text{ [kWh]} \quad (1.19)$$

Výsledkem je, že spálením jednoho kilogramu PP získáme množství dodané energie do oběhu ve velikosti 11,745 kWh po dobu jedné hodiny. Spálením jednoho kilogramu PVC získáme množství dodané energie do oběhu ve velikosti 6,036 kWh za dobu jedné hodiny

Množství dodané energie na jeden kilogram:

$$\sum PVC + PP(kwh) = \frac{170,62}{202,99} \cdot 6,036 + \frac{32,37}{202,99} \cdot 11,745 = 6,946 \text{ [kWh.kg}^{-1}] \quad (1.20)$$

Výpočtem procentního zastoupení jednotlivých složek ve vzorku a energie, kterou jsou schopny PP a PVC dodat získáme výslednou hodnotu energie dodané spálením jednoho kilogramu plasty v měřeném vzorku.

Spálením 1 kg složeného z námi naměřeného celkového množství dodané energie $\sum PVC+PP$ vzorku za cenu 1,2 Kč získáme energii v hodnotě 8,3352 Kč.kg⁻¹. Z uvažovaného procentním zastoupením plasty ve velkých elektrozařízeních (19 %) je podíl na celkové výkonosti linky **403,75 kg** za hodinu. Vynásobením ročního provozu v jednosměnném režimu a hodinový podíl plasty z výkonosti linky získáme 839 800 kg hmotnosti plasty za rok. Vynásobením získaného plasty za rok a množství získané energie za rok získáme celkovou cenu za energii vyprodukovanou spalováním plasty v hodnotě 6 999 900,96 Kč.

Cena energie byla stanovena z průzkumu trhu u dodavatelů energie na 1,2 Kč.kWh⁻¹.

- Cena energie na kg spáleného paliva

$$M_{price} = (\sum PVC + PP) \cdot P = 6,946 \cdot 1,2 = 8,3352 [Kč \cdot kg^{-1}] \quad (1.21)$$

kde: M_{price} – Cena energie na kg spáleného paliva

$\sum PVC+PP$ – Množství dodané energie na kg

P- Tržní cena výkupu energie

- Celková cena dodané energie za rok

$$T_{price} = Plast_{rok} \cdot M_{price} = 839\,000 \cdot 8,3352 = 6\,999\,900,96 [Kč] \quad (1.22)$$

kde: T_{price} - Celková cena dodané energie za rok

$Plast_{rok}$ - Množství plastu vyseparovaného linkou

7.4.4. Vyhodnocení výsledků měření

Měřením získaných vzorků za standartních skladovacích podmínek bez speciálních úprav jsme získali hodnoty v tabulce č. 6, kde jsou hlavními parametry procentní zastoupení složek ve vzorku, hodnoty spáleného tepla a výhřevnost. Vlhkost vzorku je zásadním faktorem ovlivňující výhřevnost paliva, také byla stanovena laboratorním měřením. Čím je vyšší vlhkost, tím menší je výhřevnost, a proto vzorky byly zkoumány bez speciálních úprav před měřením. Měření vzorků vždy probíhalo třikrát, aby se předešlo k chybě při měření, tudíž uvedená data jsou již průměrná. Množství dodané energie ze spáleného PVC je menší než dodaná energie z PP. Měření hmotnostního zastoupení PVC na celkovou hmotnost zastoupeného plastu byla 84,05 %. Lze uvažovat, že většinový podíl PVC na celkovou hmotnost podílů plastů v elektroodpadu ovlivní dodanou energii ze spáleného plastu. Z procentního zastoupení vzorku bylo zjištěno, že směs plastu z elektroodpadu dodá orientačně 6,946 kWh na jeden kilogram odpadu plastu.

Zakomponováním energetického hlediska do zpracovatelské linky byl proveden výpočet, kolik by byla schopna navržená zpracovatelská linka získat prodejem energie zpracované z plastu. Výpočtem bylo zjištěno, že za jeden kilogram plastu, který je tvořen stejným složením jako je vzorek, by společnost získala 8,3352 Kč. Celková cena energie dodané za rok by společnosti přinesla zisk 6 999 900,96 Kč.

7.5. Ekonomická analýza

Investiční náklady na realizaci návrhu. Z průzkumu trhu byly vyhodnoceny ceny za jednotlivé pořízené stroje.

Tab. 7 Celkové investiční náklady

Strojní zařízení		
Typ	Počet	Investiční náklad [tis. Kč]
Zařízení sekce č. 1	4	5 680
Zařízení sekce č. 2	45	39 107
Zařízení sekce č. 3	2	590
Stavby - budovy, cesty apod.		
Typ	Poznámka (nové, rekonstrukce)	Investiční náklad [tis. Kč]
Výrobní hala	nové	108 000
Pozemky		
Typ	Kultura	Investiční náklad [tis. Kč]
Pozemek areálu firmy	Nezemědělské	64 000
Parkoviště	Nezemědělské	3 000
Ostatní (např. živý inventář)		
Typ	Poznámka	Investiční náklad [tis. Kč]
Vybavení kanceláří	Počítače a příslušenství	1 250

Tab. 8 Bilance ročního provozu

Režijní náklady		
Typ	Poznámka	Režijní náklady [tis. Kč]
Platy zaměstnanců		17 616
Provozní náklady		1 320
Energie		4 380
Další výdaje		3 600
Teoretické výnosy podniku		
Materiál	Poznámka	Výnos [tis. Kč]
Železo	1 900,6 t.rok-1	27 488
Hliník	618,8 t.rok-1	48 301
Měď	530,4 t.rok-1	118 804

(40)

7.5.1. Prodej vyseparovaných kovů

Prodej neželezných kovů vyseparovaných z procesu je řízen trhem výkupních cen, které jsou referovány indexy stanovenými Londýnskou burzou kovů. Londýnská burza kovů patří mezi největší světové obchodní centra v Evropě, podle které se orientují podnikatelé v nastavení optimálních výkupních cen. Londýnská burza sdružuje účastníky z fyzického průmyslu a finanční komunity, aby vytvořili robustní a regulovaný trh. Londýnská burza poskytuje také indexy k trhu s železnými materiály, pečlivě vybranými poskytovateli indexů, S&P Global Platts a Argus Media. (41)

Pro názorný příklad jsme vzali burzovní cenu z Londýnské burzy k datu 10.3.2022 a tu jsme vynásobili aktuálním kurzem stanoveným ČNB. Aktuální kurz vůči USD (měna dolar) jedné jednotky byl stanoven na 22,081.

Kurzy devizového trhu

Základní směnný kurz pro českou korunu, který určuje cenu české koruny při bezhotovostní směně. Kurz je každý den aktualizován. Ke dni 10.3.2022 byla hodnota kurzu 22,081. (42)

Tab. 9 Výkupní ceny neželezných kovů

Materiál	[USD.t ⁻¹]	Materiál	[USD.oz t ⁻¹]
Železo	655	Zlato	1995,9
Hliník	3535	Stříbro	25,92
Měď	10 144	Paladium	2937.00

Jedna trojská unce (1 oz t) má hmotnost 31,103 gramů. Jeden kilogram se potom rovná 32,15 trojských uncí.

Pro vyhodnocení teoretického ročního cenového výnosu zpracovatelské linky byl uvažován výkupu nejvíce zastoupených materiálů na konci procesu zpracovatelské linky. Stříbro a zlato tvořilo z celkového množství teoreticky vyseparovaného materiálu za rok jen minimální množství. Stříbra by bylo vyzískáno 340,34 g a zlata 29,614 g.

Použitá metoda výpočtu získání cen jednotlivých cen materiálů:

Velkým zastoupením zpracovaného materiálu tvoří velká zařízení, proto byly procentní hodnoty materiálového zastoupení vybraných materiálů převzaty k výpočtu z tabulky č. 2. Získány hodnoty procentního zastoupení materiálu byly následně vynásobeny reálnou Q_R hodinová výkonost výrobní linky. Tím jsme dosáhli hodnoty jednotlivých materiálů v ($t \cdot h^{-1}$). Následně se vzala měnová hodnota materiálu ($USD \cdot t^{-1}$) a vynásobena kurzem stanoveným ČNB k datu prodeje. Dalším krokem bylo vynásobení získané hodnoty jednotlivých materiálů a ceně materiálu v tuzemské měně, ze které byla zjištěna teoretická hodnota materiálu vyzískaného za hodinu. Posledním krokem bylo vynásobení získané materiálové hodnoty hodinové výkonosti linky s roční hodinovou dotací jednosměnného provozu, která činila $t = 2080$ h za rok.

Výpočet

- Zastoupení zvoleného materiálu v hodinové reálné výkonosti linky:

$$E_{materiál} = \check{Z}elezo_{hod} \cdot Q_R = 0,43 \cdot 2,125 = 913,75 [kg \cdot h^{-1}] \quad (1.23)$$

kde: $E_{materiál}$ - Zastoupení zvoleného materiálu v hodinové výkonosti linky [$kg \cdot h^{-1}$]

$\check{Z}elezo_{hod}$ - Procentní zastoupení materiálu [%]

Q_R -Praktická výkonost linky [$kg \cdot h^{-1}$]

- Teoretický roční výnos materiálu:

$$TV_{rok} = E_{materiál} \cdot P_{US} \cdot k_{CZ} \cdot t_{rok} = 0,91375 \cdot 655,22 \cdot 0,81 \cdot 2080 = 27\,488\,482,33 \text{ Kč} \cdot rok^{-1} \quad (1.24)$$

kde: TV - teoretický roční výnos materiálu [$Kč \cdot rok^{-1}$]

P_{US} - Stanovená cena materiálu v dolarech [$USD \cdot t^{-1}$]

k_{CZ} -kurz stanovený ČNB [-]

t_{rok} -roční hodinová dotace linky [h]

Tab. 10 Roční výnos za prodej vybraných materiálů

Materiál	[Kč.rok⁻¹]
Železo	27 488 482,33
Hliník	48 301 260,1
Měď	118 804 117,8

7.5.2. Výsledky ekonomické analýzy

Investiční náklady na celý projekt byly vyčísleny na hodnotu 221 627 000 Kč. Z toho nejvyšší náklady byly na stavbu a zařízení výrobní haly. Ze strojních zařízení byl nejdražším pořízeným strojem bubnový drtič, jehož cena byla stanovena na 14 600 000Kč.

Režijní náklady na roční provoz linky tvoří 26 916 000 Kč. Největší složkou režijních nákladů jsou platy vynaložené na zaměstnance. Linka je ve zcela novém stavu, proto se v prvním roce neuvažují vysoké náklady vynaložené na servis strojů. Výnos je tvořen z hlavních složek separačního procesu, kterými jsou hliník, železo a měď. Z prodeje těchto surovin může linka dosáhnout výnosu až 194 593 000 Kč bez daně. Ve finální části se do výnosu ještě projeví prodej různých odebraných pryžových částí a plastových frakcí předprodaných do zpracovatelských zařízení. Drahé kovy v podobě zlata, stříbra a paládia tvoří minimální dopad na roční bilanci podniku, proto nebyly vyhodnoceny.

V kapitole vlastní měření bylo navrženo využití vytríděného plastového materiálu ve spalovacích zařízeních. Spalováním plastů za dodržení podmínek nenarušující životní prostředí lze ušetřit na vlastním energetické provozu. Dosažená cena dodané energie se ročně pohybuje kolem 6 999 900, 96 Kč. Došlo by však na navýšení investičních nákladů na pořízení zařízení a jejich servisu.

Odhadovaná bilance ukazuje, že za první rok je firma schopna pokrýt režijní náklady a pokrýt část sumy z investičních nákladů. Toho lze dosáhnout pouze za ideálních podmínek a splněním nastavené hodinové výkonnosti linky. Bilance ukazuje, že při fungujícím systému může firma ročně předpokládat sedmkrát vyšší zisk než by byly její režijní náklady.

8. Závěr

Zpracovaná diplomová práce se zabývala otázkou využití vedlejších produktů z elektroodpadů. Otázku si zodpovíme v následném přehledu skládajícího se z návrhu zpracovatelské linky a provedeného laboratorního měření.

Na začátku návrhu technologické linky jsme museli vyhodnotit získané poznatky z literárního přehledu. Z literárního přehledu jsme zpracovali přehled elektrozařízení a zastoupení jednotlivých složek obsažených v elektrozařízeních. Byly vybrány vhodné typy elektrozařízení, ze kterých jsme sestavili výchozí data k návrhu linky. Z poznatků získaných z praxe a kapitoly společnosti zpracovávající elektrozařízení jsme následně použili referenční hodnoty a sestavili plán návrhu zpracovatelské linky. Návrh se skládá z místa vhodného k podnikatelské činnosti, počtu pracovníků potřebných na provoz a výkon linky. Získaná hodnota výkonnosti linky byla určena na $2,125 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$. Tento výkon je srovnatelný s předními zpracovatelskými linkami v tuzemsku. Technologie a technika použitá v literárním přehledu byla vyhodnocena a sestavena do podoby zpracovatelské linky. Zpracovatelská linka je ve výsledku schopna zpracovat velké množství elektrozařízení od velkých až po menších spotřební zařízení. Linka je v několika ohledech originální v použitých kombinacích rozdělení provozu do několika fází. Rozdělení do fází by mělo snížit náklady na pořízení vícero mechanizace a zvýšit počet druhů zpracovaného elektrozařízení linkou. Přidáním linky na zpracování chladicích zařízení navýšíme množství zpracovaného elektrozařízení až o 23 %. Nevýhodou linky bude náročnost na manažerská rozhodování a řízení logistiky vně podniku.

Měření složek OEEZ probíhalo za laboratorních podmínek se stanoveným přesným laboratorním zařízením. Laboratorní měření byla opakována, aby se dosáhlo co nejprůkaznějších výsledků. Rozdělené plasty na PVC (84,05 %) a PP (15,95 %) byly vyhodnoceny na základě výhřevnosti, obsahu popela, chlóru, vodíku a dusíku. Ze získaných dat bylo zjištěno, že velikost výhřevnosti u spáleného PVC ($21,73 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) je dvakrát menší než u PP ($42,28 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$). Směs takto složeného plastu je schopnost dodat energii v množství $6,946 \text{ kWh}$ na jeden kilogram odpadu plastu.

Po přepočtu výsledků procentního zastoupení plastu z navržené zpracovny elektroodpadu jsme získali množství získané energie za rok v hodnotě 6 999 900,96 Kč.

Alternativní využití plastu jako paliva je odvážný krok, který se nesetkává hlavně v Evropě s velkou podporou. Evropská unie klade důraz v legislativní rovině na opětovné využití plastů ve výrobě a snižování celkové spotřeby. Přesto plasty, které nás obklopují ve velkém lze využívat jako alternativní zdroj paliva za rozumnou cenu s převyšujícími hodnotami výhřevnosti dřeva a jiných běžně používaných paliv.

9. Seznam použitých zdrojů

1. VOŠTOVÁ, Věra a Jiří FRIES. *Zpracování pevných odpadů*. Praha: ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02672-8.
2. Ministerstvo životního prostředí. *Stručný průvodce výrobce elektrozařízení*. [Online] 14. Červen 2019. [Citace: 8. Leden 2022.] Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/pruvedce_vyrobce_elektrozarizeni/\\$FILE/ODP_Strucny_pruvodce_vyrobce_elektrozarizeni_labyrintem_povinnosti_dilu_%208_zakona_185_14062019.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/pruvedce_vyrobce_elektrozarizeni/$FILE/ODP_Strucny_pruvodce_vyrobce_elektrozarizeni_labyrintem_povinnosti_dilu_%208_zakona_185_14062019.pdf).
3. Your Europe. *Označení OEEZ*. [Online] 11. Prosinec 2022. [Citace: 2. Únor 2022.] Dostupné z: https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/weee-label/index_cs.htm#).
4. ELEKTROWIN. *Z 10 skupin elektrozařízení zůstalo 6*. [Online] © 2015. [Citace: 3. Prosinec 2021.] Dostupné z: <https://www.elektrowin.cz/cs/newsletter/newsletter-2018/z-10-skupin-zustalo-6.html>.
5. KURAŠ, Mečislav. *Odpady a jejich zpracování*. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2014. ISBN 978-80-86832-80-7.
6. KRIŠTOFOVÁ, Dana. *Kovy a životní prostředí: environmentálně nebezpečné složky elektroodpadu*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2005. ISBN 80-248-0740-8.
7. Lednice a klimatizace. *CHYTRÁ RECYKLACE*. [Online] [Citace: 22. Leden 2022.] Dostupné z: <https://www.chytrarecyklace.cz/jak-recyklovat/lednice-a-klimatizace>.
8. *Separation of Shredded e-Waste Using Vibration*. Al-Khashman, Omar. 2012, Sv. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/271194316_Separation_of_Shredded_e-Waste_Using_Vibration.

9. PRAKTIK system. *Recyklace elektroodpadů*. [Online] © 2022. [Citace: 19. Zář 2021.] Dostupné z: <https://www.praktiksystem.cz/recyklace-elektroodpadu/>.
10. Zákony pro lidi. *Zákon č. 541/2020 Sb.* [Online] AION CS, s.r.o., © 2010-2022. [Citace: 11. Listopad 2021.] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541#cast2>.
11. Ministerstvo životního prostředí. *Nebezpečné odpady*. [Online] © 2008–2020. [Citace: 7. Leden 2022.] Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/nebezpecne_odpady.
12. ELEKTROWIN. *Zpracování a další využití elektroodpadu*. [Online] © 2015. [Citace: 4. Prosinec 2021.] <https://www.elektrowin.cz/cs/informace-pro-verejnost/kolobeh-elektrospotrebice/proc-recyklovat/co-se-vyrabi-dal.html>.
13. CHYTRÁ RECYKLACE. *Medaile na Olympiádě budou z recyklované elektroniky*. [Online] REMA SYSTÉM, A. S. [Citace: 22. Prosinec 2021.] Dostupné z: <https://chytrarecyklace.cz/aktuality/medaile-na-olympiade-budou-z-recyklovane-elektroniky>.
14. Zákon č. 542/2020 Sb. *Zákony pro lidi*. [Online] AION CS, s.r.o., 2010-2022 ©. [Citace: 9. Leden 2022.] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-542/zneni-20210101>.
15. Zákony pro lidi. *Nářízení vlády č. 481/2012 Sb.* [Online] AION CS, s.r.o., © 2010-2022 . [Citace: 2. Listopad 2021.] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-481>.
16. Fakta a čísla o Evropské unii. *Prameny a působnost práva Evropské unie*. [Online] 10 2021. [Citace: 7. Prosinec 2021.] Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/cs/sheet/6/prameny-a-pusobnost-prava-evropske-unie>.
17. EUR-Lex. *DIRECTIVE 2012/19/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL*. [Online] [Citace: 16. Leden 2022.] Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02012L0019-20180704>.

18. EUR-Lex. *DIRECTIVE 2011/65/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL*. [Online] [Citace: 11. Leden 2022.] Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32011L0065&qid=1647779121019>.
19. ESIPA. (EU) č. 1357/2014. [Online] ESIPA s.r.o., © 2002-2022. [Citace: 23. Listopad 2021.] Dostupné z: <https://esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=32014R1357>.
20. VEIT, Hugo Marcelo a Andréa Moura BERNARDES. *Electronic waste: recycling techniques*. Cham : Springer, 2015. ISBN 978-3-319-15713-9.
21. HOLBEIN, Milan. *Úpravnictví*. Praha: Nakladatelství techn. lit, 1983.
22. SEDLÁČKOVÁ, Věra a Pavel SEDLÁČEK. *Přípravné procesy*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita, 2004. ISBN 80-248-0582-0.
23. Tretiruka. *Nejvhodnější drtič pro elektroodpad*. [Online] 10. Říjen 2018. [Citace: 17. Zář 2021.] Dostupné z: <https://www.tretiruka.cz/news/nejvhodnejsi-drtic-pro-elektroodpad/>.
24. KRIŠTOFOVÁ, Dana. *Recyklace neželezných kovů*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2003. ISBN 80-248-0485-9.
25. OBROUČKA, Karel. *Termické zneškodňování odpadů*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 1997. ISBN 80-7078-505-5.
26. ANDRT, M. *Technika a technologie v živočišné produkci*. Praha: PEF ČZU, 2006. ISBN 80 86579 13 1.
27. ELEKTROWIN. *Co je recyklační příspěvek*. [Online] ELEKTROWIN A.S., © 2015. [Citace: 23. 1 2022.] Dostupné z: <https://www.elektrowin.cz/cs/informace-pro-verejnost/kolobeh-elektrospotrebice/koupili-jste-novy/co-je-recyklačni-prispevek.html>.
28. AREO. *ASOCIACE*. [Online] © 2020. [Citace: 2. Listopad 2021.] Dostupné z: <https://www.areo-asociace.cz/>.

29. Kovohutě Příbram. *Divize Elektroodpad*. [Online] Kovohutě Příbram , © 2022. [Citace: 3. Listopad 2021.] Dostupné z: <https://www.kovopb.cz/divize-elektroodpad/>.
30. AVE. *Profil společnosti*. [Online] AVE CZ odpadové hospodářství, s. r. o., © 2022. [Citace: 3. Listopad 2022.] Dostupné z: <https://www.ave.cz/cs/o-spolecnosti/profil-spolecnosti>.
31. PRAKTIK System. *O firmě*. [Online] PRAKTIK system s.r.o., © 2022. [Citace: 3. Listopad 2021.] Dostupné z: <https://www.praktiksystem.cz/o-firme/>.
32. <https://www.rumpold.cz/cs/o-nas/>. *O společnosti*. [Online] Rumpold s. r. o. [Citace: 3. Listopad 2021.] Dostupné z: <https://www.rumpold.cz/cs/o-nas/>.
33. STEELMET. *O nás*. [Online] STEELMET, © 2020. [Citace: 3. Listopad 2021.] Dostupné z: <https://www.steelmet.cz/o-nas/>.
34. Český statistický úřad. *Průměrná mzda a počet zaměstnanců v Ústeckém kraji v 1. čtvrtletí 2021*. [Online] 4. Červen 2021. [Citace: 21. Prosinec 2021.] Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xu/prumerna-mzda-a-pocet-zamestnancu-v-usteckem-kraji-v-1-ctvrtleti-2021>.
35. *Explosion Prevention and Protection*. Verplaetsen, Filip. místo neznámé: KU Leuven, 2016.
36. Blažek, Matěj. *Návrh energetického využití směsi odpadního plastu*. Praha: ČZU, 2019.
37. JANOVEC, Jan. *Technické materiály v primárním a preprimárním vzdělávání*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2013. ISBN 978-80-7414-596-4.
38. CHOTĚBORSKÝ, Rostislav. *Nauka o materiálu*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2011. ISBN 978-80-213-2236-3.
39. CESKE STAVBY. *Výhřevnost paliva je klíčem k levnému vytápění*. [Online] 30. Říjen 2014. [Citace: 28. Leden 2022.] Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/vyhrevnost-paliva-je-klicem-k-levnemu-vytapeni-23457.html>. ISSN: 1801-156X.

40. KAVKA, M. *Řízení a organizace výrobních procesů*. Praha: ČZU, 2014.
41. LME. *METALS*. [Online] The London Metal Exchange , © 2022 . [Citace: 15. Březen 2022.] Dostupné z: <https://www.lme.com/en/>.
42. ČNB. *Kurzy devizového trhu*. [Online] ČNB, © 2022. [Citace: 13. Březen 2022.] Dostupné z: <https://www.cnb.cz/cs/financni-trhy/devizovy-trh/kurzy-devizoveho-trhu/kurzy-devizoveho-trhu/>.
43. 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.

Seznam obrázků

Obr. 1 Značení OEEZ	4
Obr. 2 Skupiny elektrozařízení ELEKTROWIN	5
Obr. 3 Znak recyklovaného výrobku	12
Obr. 4 Pásový dopravník STANDARD od společnosti JVM metal s.r.o.	31
Obr. 5 Cyklus výrobku.....	33
Obr. 6 Provozovna STEELMET	36
Obr. 7 Blokové schéma a materiálový tok linky.....	42
Obr. 8 Zabudovaná mostní váha v blocích (B).....	43
Obr. 9 Bubnový řetězový drtič ADuro QZ SHREDDER od společnosti ANDRITZ	46
Obr. 10 Optimalizátor na PUR pěnu.....	48
Obr. 11 Nožový mlýn G80 od firmy AVIAN.....	50
Obr. 12 Optický separátor FINDER od firmy TOMRA.....	51

Seznam tabulek

Tab. 1 Materiál zastoupený v lednici	9
Tab. 2 Složení materiálového zastoupení ve vybraných druzích zařízení	9
Tab. 3 Lidský kapitál	40
Tab. 4 Složení vybraného elektroodpadu k laboratornímu měření	53
Tab. 5 Množství plastů.....	54
Tab. 6 Výsledné laboratorní hodnoty	58
Tab. 7 Celkové investiční náklady	61
Tab. 8 Bilance ročního provozu.....	61
Tab. 9 Výkupní ceny neželezných kovů	62
Tab. 10 Roční výnos za prodej vybraných materiálů	64

Seznam grafů

Graf 1 Zpětného odebraného elektrozařízení a oddělených sebraných elektroodpadů na celkovém množství sebraných elektroodpadů	37
--	----

Seznam příloh

Příloha 1

Omezené množství látek v elektroodpadu a jejich maximální hodnoty hmotnostní koncentrace tolerované v homogenních materiálech

Olovo	(0,1%)
Rtuť	(0,1%)
Kadmium	(0,01%)
Šestimocný chrom	(0,1%)
Polybromované bifenyly (PBB)	(0,1%)
Polybromované difenylethery (PBDE)	(0,1%)
Bis(2-ethylhexyl)ftalát (DEHP)	(0,1%)
Butylbenzylftalát (BBP)	(0,1%)
Dibutylftalát (DBP)	(0,1%)
Diisobutylftalát (DIBP)	(0,1%)