

# **Mikrovlnná separace kovových částí elektronického odpadu**

Microwave separation of metal parts of electronic waste

Veronika Svobodová

---

Bakalářská práce  
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

# Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

Ústav bezpečnostního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Veronika Svobodová**  
Osobní číslo: **A17178**  
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**  
Forma studia: **Kombinovaná**  
Téma práce: **Mikrovlnná separace kovových částí elektronického odpadu**  
Téma práce anglicky: **Microwave Separation of Metal Parts in Electronic Waste**

### Zásady pro vypracování

1. Seznamte se s problematikou a základním dělením separačních metod a jejich účinností.
2. Pojedejte o analytickém využití separačních metod.
3. Navrhněte mikrovlnnou separaci drahých kovů elektronického odpadu.
4. Verifikujte zjištěná data z výsledků pokusů.
5. Uveďte nové trendy ve vývoji.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam doporučené literatury:

1. GRUBER, Václav. *Chemické metody recyklace elektroodpadu*. Ústav chemických procesů AVČR, Praha, 2005.
2. BOŽEK, F., URBAN, R. a ZEMÁNEK, Z. *Recyklace*. [Monografie.]. 1. vyd. Pustiměř: MoraviaTisk. 238 s. ISBN 80-238-9919-8.
3. KUČEROVÁ, Eva. *Elektrotechnické materiály*. FEI ZČU, Plzeň, 2002. ISBN 80-7082-940-0.
4. KHALIQ, Abdul, Muhammad Akbar RHAMDHANI, Geoffrey BROOKS a Syed MASOOD. *Metal Extraction Processes for Electronic Waste and Existing Industrial Routes. A Review and Australian Perspective* [online]. 3. Faculty of Science, Engineering and Technology, Swinburne University of Technology, Hawthorn, VIC 3122, Australia: resources, 2014 [cit. 2019-10-11]. ISBN ISSN 2079-9276. Dostupné z: <http://wealthfromwaste.net/wp-content/uploads/2014/11/Metal-Extraction-Processes-for-Electronic-Waste-and-Existing-Industrial-Routes.pdf>
5. *Electronic Scrap* [online]. 2006 [cit. 2019-10-11]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/electronic-scrap>

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Ján Ivanka**

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: 7. prosince 2019

Termin odevzdání bakalářské práce: 25. května 2020

L.S.

---

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.  
děkan

---

Ing. Jan Valouch, Ph.D.  
ředitel ústavu

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

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

### **Prohlašuji,**

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

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

Veronika Svobodová, v. r.

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce seznamuje s problematikou elektronického odpadu a popisuje způsoby separace elektronického odpadu. V úvodní části je kladen důraz na odpad, jak se odpad dále člení a způsoby recyklace odpadu. Velká část je věnována separačním metodám a jejich dělení, analytické využití separačních metod v technické praxi objasňuje vybrané metody separace, poslední a zajímavou součástí teoretické části jsou inovace separačních metod využívaných po celém světě. Praktická část zahrnuje mikrovlnnou separaci vzácných kovů elektronického odpadu. V první části jsou uvedena měřící zařízení, která byla využita během zkoušek a uvedeny jejich vlastnosti. Druhá část shromažďuje naměřená a zpracovaná data, fotodokumentaci během zkoušek a získané poznatky.

Klíčová slova: elektronický odpad, separace, separační metody, desky plošných spojů, recyklace, využití kovů

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis introduces the issue of electronic waste and describes the methods of electronic waste separation. In the introductory part, emphasis is placed on waste, how it is further divided and recycled. Large section is dedicated to the methods of separation and how they are divided, analytical application of separation methods in technical practice clarifies selected separation methods. The last and interesting component of the theoretical part are separation method's innovations used all over the world. The practical part includes the microwave separation of precious metals contained in electronic waste. The first section lists measuring devices that were used during the tests and their properties. The second part collects measured and processed data, photodocumentation from tests and obtained findings.

Keywords: electronic waste, separation, separation methods, printed circuit boards, recycling, metal utilization

Velké poděkování patří mému vedoucímu práce panu inženýru Ivankovi, který měl se mnou svatou trpělivost, za jeho odborné vedení, cenné rady a připomínky, jež mi byly poskytovány při řešení mé bakalářské práce.

Dále bych chtěla poděkovat rodině a partnerovi za obrovskou podporu během celého studia.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 ODPAD – ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU</b> .....	<b>11</b>
1.1 RECYKLOVATELNÝ A NERECYKLOVATELNÝ ODPAD.....	12
1.1.1 Kontejnery pro recyklovatelný odpad .....	12
1.2 ELEKTRONICKÝ ODPAD .....	13
1.2.1 Kategorie elektronických a elektrických zařízení .....	14
1.2.2 Nebezpečný materiál a komponenty v elektronických zařízeních .....	15
1.3 ZÁVĚR KAPITOLY ODPAD – ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU.....	15
<b>2 SEPARAČNÍ METODY</b> .....	<b>16</b>
2.1 MECHANICKÉ A FYZIKÁLNÍ PROCESY .....	16
2.1.1 Demontáž desek plošných spojů .....	16
2.1.2 Izolace kovových a nekovových částí.....	17
2.1.3 Třídění za pomoci sít.....	17
2.1.4 Gravitační separace .....	17
2.1.5 Magnetická separace .....	18
2.1.6 Elektrostatická separace .....	18
2.2 CHEMICKÉ PROCESY .....	22
2.2.1 Pyrometalurgické procesy .....	23
2.2.2 Hydrometalurgické procesy .....	23
2.3 ZÁVĚR KAPITOLY SEPARAČNÍ METODY .....	24
<b>3 ANALYTICKÉ VYUŽITÍ SEPARAČNÍCH METOD</b> .....	<b>25</b>
<b>4 INOVACE VE VÝVOJI SEPARAČNÍCH METOD</b> .....	<b>27</b>
4.1 MIKROTOVÁRNA .....	27
4.2 PROJEKT SPOLEČNOSTI GAS-TO-ENERGY OD SPOLEČNOSTI BMW .....	27
4.3 ROZPUSTNÉ BATERIE .....	28
4.4 SILIKONOVÉ DESKY S OBVODY .....	28
4.5 OBNOVENÍ KOVŮ Z LED ŽÁROVEK .....	28
4.6 ZÍSKÁNÍ BROMU Z ELEKTRONICKÉHO ODPADU .....	28
4.7 PROPAGACE VLASTNÍHO RECYKLAČNÍHO ZÁVODU VE SPOLEČNOSTI RECIPO .....	29
4.8 ZÁVĚR KAPITOLY INOVACE VE VÝVOJI SEPARAČNÍCH METOD .....	29
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>30</b>
<b>5 MIKROVLNNÁ SEPARACE VZÁCNÝCH KOVŮ ELEKTRONICKÉHO ODPADU</b> .....	<b>31</b>
5.1 MIKROVLNY.....	31
<b>6 MĚŘÍCÍCH ZAŘÍZENÍ A JEJICH VLASTNOSTI</b> .....	<b>32</b>

6.1	MIKROVLNNÁ TROUBA A JEJÍ PRINCIP .....	32
6.2	DESKA PLOŠNÝCH SPOJŮ .....	34
6.3	ZÁVĚR KAPITOLY MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ .....	34
<b>7</b>	<b>MĚŘENÍ A VERIFIKACE ZJIŠTĚNÝCH DAT Z MĚŘENÍ.....</b>	<b>35</b>
7.1	NÁVRH PRO MIKROVLNNOU SEPARACI DRAHÝCH KOVŮ Z ELEKTRONICKÉHO ODPADU.....	35
7.2	OVĚŘENÉ SKUTEČNOSTI A JEJICH VERIFIKACE.....	38
7.2.1	Měření vzorků při mikrovlnném výkonu 80 W .....	38
7.2.2	Měření vzorků při mikrovlnném výkonu 240 W .....	40
7.2.3	Měření vzorků při mikrovlnném výkonu 400 W .....	41
7.2.4	Měření vzorků při mikrovlnném výkonu 640 W .....	43
7.2.5	Měření vzorků při mikrovlnném výkonu 800 W .....	45
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>47</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>48</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>52</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>54</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>55</b>



## ÚVOD

Odpad, který je vyprodukovaný lidmi je stále na neúnosné úrovni, ať už se jedná o papír, plasty, sklo, či jiný odpad. Proto je zapotřebí odpadu předcházet, regulovat jej a opětovně používat, čímž bude zminimalizován dopad na životní prostředí a přispěje se tím k účinnému využívání vyhozených odpadků, aby se jimi za pár let obyvatelstvo naší planety nebrodilo. Oproti minulých let se recyklace mnohem více zlepšila, i když ne ve všech odvětvích. Stále jsou na planetě rozvojové země, kde je recyklace ještě v plenkách a kde vznikají velká kvanta nerecyklovaného odpadu.

Za následkem vzniku velkého množství elektronického odpadu stojí pokroková technologie a různorodost spotřebitelů, tím se objevuje i zkrácená životnost elektrických a elektronických zařízení. Je zapotřebí nových vývojových programů, které by si s elektronickým odpadem zcela dokázaly poradit. Stále spousta součástí elektronického odpadu je nespotřebována a vyhazována jako nebezpečný odpad. Aby nedocházelo k narůstajícímu odpadovému hospodářství, je důležité využívat takové materiály, které jsou při recyklaci lehce zpracovatelné.

Organizace spojených národů společně zveřejnily, že je ročně vyhazováno přibližně 50 milionů tun elektroodpadu, čímž je přesažena celková hmotnost všech komerčních letadel, které byly doposud vyrobeny.

I když elektrospotřebiče spadají pod nebezpečný odpad, za pomoci separačních metod jsou z nich separovány vzácné kovy, které se v elektrospotřebičích nachází, čímž jsou ekonomicky atraktivní pro recyklaci. Jsou získávány drahé kovy jako: měď (Cu), hliník (Al), olovo (Pb), zinek (Zn), nikl (Ni), železo (Fe), cín (Sn), antimon (Sb), zlato (Au), stříbro (Ag), gallium (Ga), platina (Pt), palladium (Pd), telur (Te), tantal (Ta), germanium (Ge), arsen (As), titan (Ti), indium (In), kobalt (Co) a selen (Se) [5].

Běžnými procesy využívaných k nalezení vzácných kovů jsou hydrometalurgie a pyrometalurgie.

# **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ODPAD – ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU

S narůstající populací a modernizací narůstá i větší počet odpadu vyprodukovaného lidmi. Bohužel ne vše je možno recyklovat, a tím narůstá mnohem více odpadu, který není recyklovatelný. Problematika odpadků narůstá především neúměrným používáním obalových materiálů a umělých hmot. Většina obalových materiálů je vyráběna z neobnovitelných surovin, jakož je například ropa. Recyklací udržujeme zdroje přírody. Tříděním odpadu šetříme životní prostředí, nejdůležitější je však také předcházet vzniku odpadu.

Tab. 1.: Odpadové hospodářství v ČR v letech 2014–2018 (v tis. t) [24]

	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Vyprodukované odpady celkem</b>	23 789	26 947	25 758	24 926	28 353
<b>Odpad v podnicích</b>	20 236	23 247	21 802	20 884	24 189
✚ Nebezpečné odpady	1 154	1 116	1 082	1 167	1 398
✚ Ostatní odpady	19 082	22 131	20 720	19 717	22 791
<b>Komunální opad</b>	3 261	3 337	3 580	3 643	3 732
✚ Běžný svoz	2 093	2 070	2 094	2 071	2 100
✚ Objemný svoz odpadu	308	309	348	365	393
✚ Služby komunálního odpadu	64	61	58	56	48
✚ BIO odpad	1 564	1 647	1 817	1 868	1 907
✚ Recyklovatelný odpad	467	485	519	558	601
• Plasty	109	118	128	139	147
• Papír	147	156	162	169	182
• Sklo	114	120	127	133	139
• Kovy	44	30	27	33	43
✚ OEEZ	167	169	170	172*	175**

\* Objem OEEZ pro rok 2017 je orientační;

\*\* Objem OEEZ pro rok 2018 je orientační.

## **1.1 Recyklovatelný a nerecyklovatelný odpad**

K recyklaci odpadu jsou v obcích a městech zřízeny kontejnery v barvách specifických pro plast, papír, sklo barevné a čiré, kov a oblečení. Taktéž je využíván pytlový systém pro plasty a papír, ten je doplňkem v obcích ke kontejnerům, aby obec nemusela zřizovat více kontejnerů. Mimo jiné jsou v některých obcích i tzv. sběrné dvory, kde mohou občané zanechat odpad.

Jedná se tak o odpad, který není vhodný do specifických kontejnerů pro tříděný odpad. Takový odpad je vnímán jako nebezpečný pro životní prostředí a je dále zpracováván, případně ukládán na speciální místa pro něj určená. Ale kromě nebezpečného odpadu jsou na sběrném dvoře velké kontejnery, kde mohou odevzdat lidé např. objemné odpady, stavební huť, elektrošrot aj.

### **1.1.1 Kontejnery pro recyklovatelný odpad**

#### **Kontejner pro papír**

Do kontejneru pro papír mohou lidé vkládat časopisy, noviny, kartóny, staré knihy bez vazby, lepenku, kancelářský papír, sešity apod.

Naopak kopírovací papír, voskovaný papír, dětské plenkové kalhotky, použité hygienické potřeby do kontejneru nepatří [1].

#### **Kontejner pro plasty**

Mezi odpad, který je možný vkládat do kontejneru pro plasty patří například: sáčky, fólie, igelit, sešlápnuté PET láhve, kelímky, polystyren, nápojové krabice od džusů, mléka (tzv. tetrapak) apod.

Nepatří sem linolea, novodurové trubky, molitan, obaly znečištěné od nebezpečných látek (chemikálie, motorové oleje, barvy apod.) [1].

#### **Kontejner pro sklo**

Do kontejneru pro sklo vhazujeme skleněné nádoby, láhve od nápojů, skleněné střepy, tabulové sklo.

Keramika, autosklo, drátěné sklo, porcelán a zrcadla do kontejneru nepatří [1].

### **Kontejner pro bio odpad**

Zbytky ovoce a zeleniny, posekaná tráva, listí, zbytky jídel rostlinného původu, zbytky rostlin, sláma, seno a popel ze dřeva do kontejneru patří.

Avšak oleje, maso, tekuté zbytky jídla, uhynulá zvířata, kosti sem naopak nepatří [1].

### **Kontejner pro oblečení**

I pro oblečení jsou zřízeny kontejnery, avšak ty slouží pouze pro čisté a zabalené oblečení, které je využíváno pro charitativní účely.

## **1.2 Elektronický odpad**

Odpad elektroniky, známý také jako elektronický odpad nebo elektronický šrot, je odpad, který je čerpán z rozbitých, zastaralých a nadbytečných elektrozařízení. Elektronické zařízení obsahují i různé nebezpečné a toxické chemikálie a materiály, které se uvolňují do životního prostředí, proto je zapotřebí elektronický odpad recyklovat a zbylé nebezpečné látky zlikvidovat. Recyklací je získán materiál z použitých starých zařízení, který je znovupoužitelný při výrobě nových elektrozařízení, a taktéž za pomoci recyklace jsou extrahovány drahé kovy a jiné materiály z elektroniky, tím je šetřena energie, snížen prostor na skládkách, redukováno znečištění a vytvářena pracovní místa [2].

V roce 2018 se na celém světě v elektroprůmyslu využilo necelých 300 tun zlata [3].

### 1.2.1 Kategorie elektronických a elektrických zařízení

Ve světě existuje nespočet druhů elektrických a elektronických zařízení (dále jen EEZ), aby je bylo snadnější identifikovat, vytvořil evropský parlament kategorie, do kterých budou jednotlivá zařízení zařazena.

Tab. 2.: Kategorizace elektronických a elektrických zařízení [4]

Kategorie EEZ	
1.	Velké domácí spotřebiče
2.	Malé domácí spotřebiče
3.	IT a telekomunikační zařízení
4.	Spotřební zařízení a fotovoltaické panely
5.	Osvětlovací zařízení
6.	Elektrické a elektronické nástroje (s výjimkou velkých stacionárních a průmyslových nástrojů)
7.	Hračky, vybavení pro volný čas a sport
8.	Zdravotnické prostředky (s výjimkou všech implantovaných a infikovaných produktů)
9.	Monitorovací a kontrolní nástroje
10.	Automatické dávkovače

### 1.2.2 Nebezpečný materiál a komponenty v elektronických zařízeních

Elektronický odpad mimo užitečné kovy, které se dále využívají, obsahují i spoustu nebezpečného odpadu, který je potřeba separovat.

Tab. 3.: Nebezpečný materiál a komponenty v elektronických zařízeních [4]

	Materiál a komponenty	Popis
1.	Baterie	Přítomnost těžkých kovů (olovo, rtuť, kadmium)
2.	CRT obrazovky	Olovo v kónickém skle a zářivky
3.	Složky obsahující rtuť	Rtuť je používána v termostatech, senzorech, relé a spínačích (desky plošných spojů, měřicí zařízení a výbojky). Nachází se ve zdravotnických zařízeních a v telekomunikacích a při přenosu dat.
4.	Azbestový odpad	Nutné nakládat selektivně.
5.	Tonerové náplně	Potřeba vyjmout ze všech EEZ
6.	Desky plošných spojů	Kadmium se vyskytuje v určitých součástkách (čipové rezistory SMD, infračervené detektory a polovodiče)
7.	Polychlorovaný bifenyly obsahující kondenzátory	Kondenzátory obsahující polychlorovaný bifenyly musí být odstraněny pro bezpečné zničení.
8.	LCD displej z tekutých krystalů	LCD s povrchem větším než 100 cm <sup>2</sup> musí být z EEZ odstraněny.
9.	Plasty s halogenovými retardéry hoření	Během spalování plastů mohou halogenové retardéry hoření vytvářet toxické složky.
10.	Chlorfluoruhlovdíky (CFC), hydrochlorfluoruhlovdíky (HCFC), fluorované uhlovdíky (HFC)	Složky CFC, HCFC a HFC, které jsou přítomny v pěnovém a chladičím zařízení musí být správně extrahovány a zničeny.
11.	Plynové výbojky	Rtuť musí být odstraněna.

### 1.3 Závěr kapitoly odpad – zhodnocení současného stavu

V kapitole je zaměřeno na Českou republiku, jaká byla produkce v letech 2014–2018, jaké typy odpadu jsou, které jsou recyklovatelné, a které naopak nikoliv.

Popsán je i elektronický odpad, co to je, jaké jsou kategorie a jaké nebezpečné komponenty a materiály obsahují.

## 2 SEPARAČNÍ METODY

Aby byl recyklační proces plošných desek co nejúčinnější k využití kovové frakce, zpravidla obsahuje 3 fáze: předúpravu, separaci / koncentraci a v poslední řadě mechanické, chemické, rafinační a čistící procesy.

Předúpravou se rozumí volitelná analýza složení, včetně manuální, automatické nebo poloautomatické demontáže elektronických dílů, které jsou opakovaně použitelné nebo toxické.

Do separace / koncentrace spadá drcení, skartování, rozměňování, prosévání, oddělování aj.

Pod mechanické a chemické procesy spadá pyrometalurgie, hydrometalurgie, elektrometalurgie a bio metalurgie [5].

### 2.1 Mechanické a fyzikální procesy

Fyzická separace využívá nízkých provozních a kapitálových nákladů, následkem nedostatečného uvolňování kovů však trpí vysokou ztrátovostí (10–35 %) [5].

#### 2.1.1 Demontáž desek plošných spojů

Materiály, které jsou získávány jsou různě ukotveny na plošných spojkách. Pro demontáž desek plošných spojů lze využít dvou metod automatické separace, a to:

##### a) Selektivní demontáž

Specifické komponenty jsou umístovány a odstraňovány podle cílů dané demontáže. Určí se typ připojení a souřadnice spojení, komponenty jsou zde demontovány samostatně. Selektivní demontáž je velmi důležitá, pomocí selektivní demontáže jsou opětovně použity některé součástky a demontovány nebezpečné komponenty [5].

##### b) Simultánní demontáž

Spočívá v tom, že se celá deska zahřeje, aby bylo možné připojené komponenty odstranit současně. Odstraněné komponenty jsou později identifikovány a rozděleny dle kritérií na fyzikální a geometrické. Metoda má vysokou účinnost, bohužel zahříváním hrozí vyšší riziko poškození součástek [5].



### **2.1.2 Izolace kovových a nekovových částí**

Důležité je rozdělit části elektronického odpadu na kovové a nekovové části. Mimo jiné je podstatné kategorizace elektronického odpadu, při níž je vstupní materiál roztríděn k separaci.

Záměrem skartace nebo drcení je oddělení kovů od tištěných spojů.

Využívají se rozdílné operace zpracování jako je drcení a broušení, čímž se uvolní kovy z potažených materiálů (tj. skleněná vlákna, pryskyřice a plasty). Prvně se však odstraní nebezpečné komponenty, jako jsou například baterie, LCD, kondenzátory.

Aby mohl být materiál izolován, využívají se různé typy rotačních drtičů, kladivové drtiče, diskové drtiče a řezače vybavené sítím vespod [5].

### **2.1.3 Třídění za pomoci sít**

Jelikož se velikost a tvar částic kovů liší od těch plastových a keramických, je metoda třídění za pomoci sít primární pro získávání kovů, využívá se rotační síto nebo tříštěná jednotka. Tříštěná jednotka je velmi využívána při zpracování komunálního pevného odpadu a automobilového šrotu. Co se síť týče, velikost síťových otvorů je měnitelná dle velikosti rozdrčených částic [5].

### **2.1.4 Gravitační separace**

Funkčnost gravitační separace je založena na faktu, že každý element materiálu má charakteristickou hustotu.

Materiály jsou tak různě oddělovány svou hmotností, při svém pohybu reakcí na gravitaci. Dalším důležitým faktorem při separaci je i velikost. Separace hustotou je využívána na základě skutečnosti, že elektronický šrot je složen převážně z plastů, u kterých je hustota menší než  $2,0 \text{ g / cm}^3$ . Lehký kov (především Al) a sklo má hustotu  $2,7 \text{ g/cm}^3$  a těžké kovy (hlavně Cu) a feromagnetika s hustotou vyšší než  $7 \text{ g / cm}^3$ . Využívá se metody separace Sink & Float, kdy lehké částice (plast) plavou na hladině a těžké (kovy) se rychleji ponoří [5].

### **2.1.5 Magnetická separace**

Během magnetické separace se oddělují magnetické části od nemagnetických. Rozdrcený šrot na velmi malé částičky, v průměru okolo 5 mm je vložen do magnetických bubnových separátorů. Využívá se k obnovení feromagnetických kovů z neželezných kovů a jiných odpadů, které nejsou magnetické.

Nejvýraznějším problémem magnetické separace je aglomerace částic, jsou zde k sobě připoutávány i neželezné směsi spojené s těmi železnými [5].

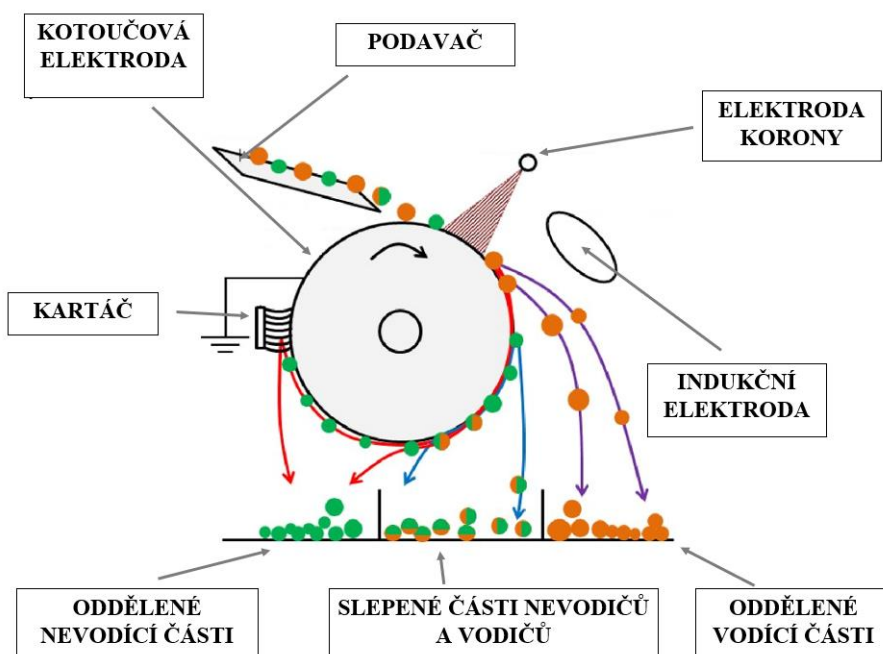
### **2.1.6 Elektrostatická separace**

Výše uvedená separace vychází z elektrické vodivosti, při které se oddělují materiály s rozličnou elektrickou vodivostí. Jsou využívány 3 typy technik separace elektrické vodivosti, a to elektrostatická separace korony, separace vířivými proudy a triboelektrická separace [6, 7].

#### ***2.1.6.1 Separace koronovými elektrodami***

Důležitost při oddělování kovů a nekovů je kladena na elektrodový systém, s čímž souvisí vlhkost částic, jejich velikost a rychlost, kterou je rotor otáček.

Na obrázku č. 1 je vyobrazen princip separace koronovou elektrodou. Indukčním nabíjením jsou úspěšně odděleny smíšené částice, které jsou rozdílné svou vodivostí. Na válci jsou pomocí statické elektřiny přichyceny nekovové částice (plasty) a také smíšené kovové a nekovové částice, kovové částice nepřilnou k válci a prochází dále [7].



Obr. 1.: Separace koronovými elektrodami, oddělení částic [9]

### Koronový efekt

Vzniká tehdy, je-li napětí přiváděné do korony vyšší než prahová hodnota – jedná se o kritické rušivé napětí – tím se intenzita pole stává dostatečně silnou, aby se rozložil vzduch, který obklopuje vodiče, na ionty, čímž nastane vodivost. Kritické rušivé napětí nastane, je-li hodnota napětí vyšší než 30kV.

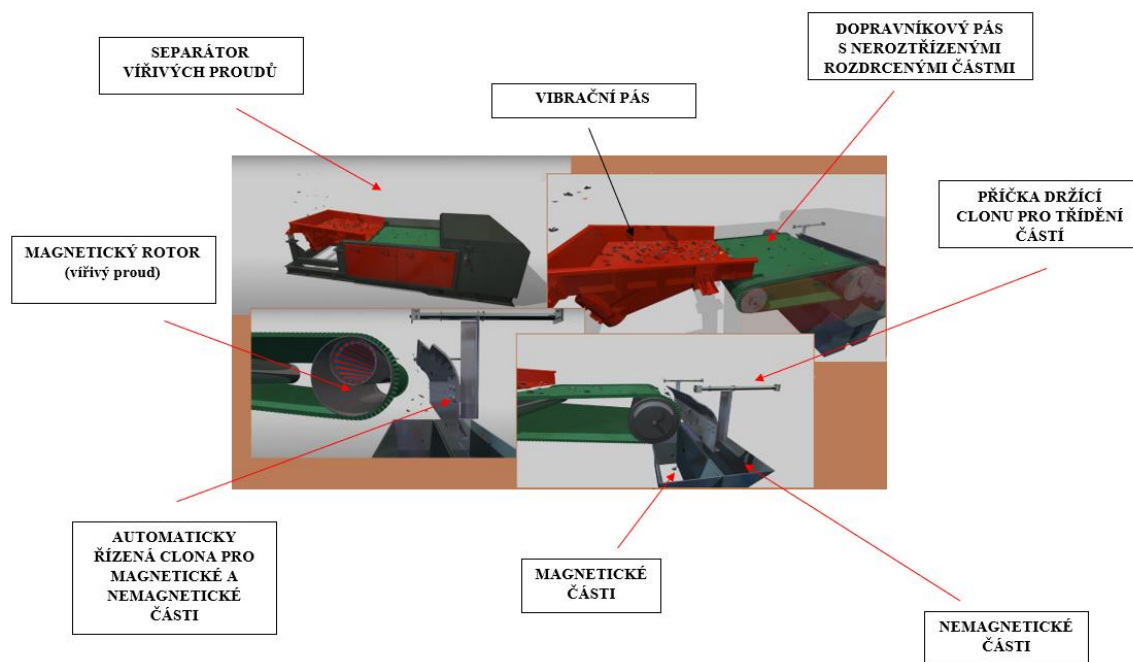
Aby vznikl koronový výboj, je zapotřebí:

- a) vést střídavý rozdíl elektrického potenciálu vedením,
- b) mít dostatečně velkou vzdálenost vodičů ve srovnání s průměrem vedení.

Pokud je dosaženo 2 podmínek pro vznik koronového výboje, je vzduch, který obklopuje vodiče vystaven dielektrickému napětí. Dosáhneme-li vytvoření střídavého proudu, který bude protékat dvěma vodiči daného přenosového vedení tak, aby jeho vzdálenost byla v porovnání s jejich průměrem velká [8].

### 2.1.6.2 Separace vířivými proudy

Separace vířivými proudy se liší od předchozí separace tím, že je magnetický rotor vířivých proudů uvnitř válce, který se nachází na konci dopravníkového pásu. Princip oddělení částic je stejný (viz obr. 2) [10].



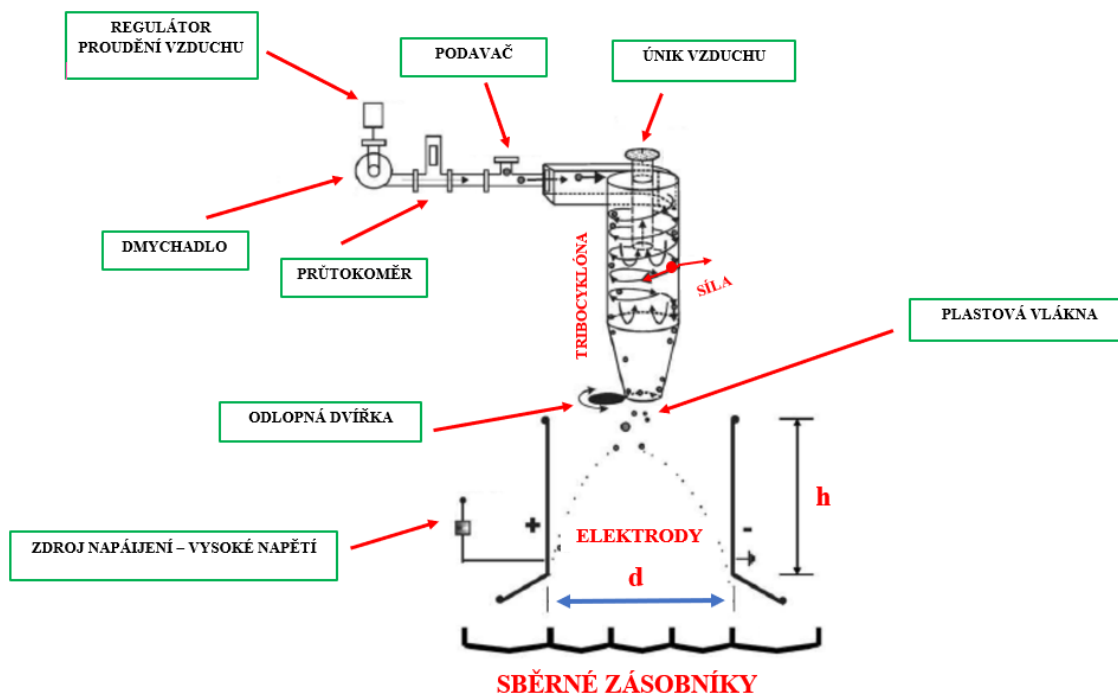
Obr. 2.: Separátor nekovových a neželezných částí za pomoci vířivých proudů [10]

### Vířivé proudy

Jedná se o proudy, které kolují ve vodičích tak, jako v proudu vířící víry. Způsobují se změnou magnetického pole a prouděním v uzavřených smyčkách. Je zapotřebí, aby vše probíhalo kolmo k rovině magnetického pole. Vytvářejí se, pokud se magnetickým polem pohybuje vodič, nebo mění-li se magnetické pole, které obklopuje ustálený vodič. Jednoduše lze říci, že vířivé proudy může produkovat cokoliv, co má za následek změnu směru magnetického pole nebo změnu intenzity [10, 11].

### 2.1.6.3 Triboelektrická separace

Mechanismus pro tuto separaci je složen z 6 komponentů: dmyhadla, podavače, tribocyklónu, dvou deskových vertikálních elektrod, zdroje stejnosměrného napájení a sběrných nádob (viz obr. 3) [12, 13].



Obr. 3.: Schématické zobrazení triboelektrické separace [12]

Triboelektrické separátory využívají intenzivního tření částic, částice jsou přitahovány buď k pozitivní elektrodě či negativní elektrodě, a to polaritou náboje. Svou polaritou jsou tak separovány do různých sběrných nádob [12].

### Triboelektrický jev

Triboelektrický jev je známá již tisíce let. Proces vzniká při tření různých materiálů proti sobě, čímž se zvýší kontakt na povrchu, a tím se vytvoří elektrický náboj, jež je nazýván triboelektrický efekt [13].

## **2.2 Chemické procesy**

Chemické procesy separace zahrnují pyrolýzu, spalování, zplyňování, superkritickou kapalinovou depolymeraci aj.

### **Pyrolýza**

Pyrolýza spadá do procesů termochemické konverze spolu se zplyňováním a spalováním. Procesy jsou navzájem odlišovány obsahem kyslíku v reakčním prostoru. Pyrolýza je založena na rozkladu organických látek bez přístupu oxidačních médií působením tepla [14].

### **Spalování**

*„Spalování je reakcí kyslíku s látkami za vývoje tepla a světla, která po dosažení zápalné teploty rychleji probíhá v čistém kyslíku než ve vzduchu. Při dokonalém spalování organické látky vznikne oxid uhličitý (při nedokonalém oxid uhelnatý) a voda, z ostatních látek vznikají oxidy“ [15].*

### **Zplyňování**

Považujeme za vývoj více procesů, během kterých postupně oxidují uhlovodíky s vodní párou paliv a dochází ke snížení na destilační části, hořlavé plyny a zbytek minerálů [16].

### **Superkritická kapalinová depolymerace**

Kapalinou se rozumí jakákoliv látka při tlaku a teplotě nad její kritický termodynamický bod. Využívají se pro recyklaci pryskyřic a vláken [17].

### **2.2.1 Pyrometalurgické procesy**

S pyrometalurgickými technikami jsou spjaty pojmy spalování a tavení v plazmové obloukové peci či peci vysoké. Výhodou pyrometalurgické techniky je zpracování jakékoliv formy šrotu.

Pro získání mědi (Cu) je ideální metoda primárního tavení. Zbytkové desky plošných spojů jsou použitelné k výrobě slitiny Cu-Ni-Si, strusky a směsného oxidu (Pb a Zn) za pomoci horkovzdušného reaktoru.

K získání Pb, Sb, Bi a jiných těžkých kovů s vysokým tlakem par je využívána vakuová metalurgická separace [18].

#### **Primární tavení**

Pyrometalurgický proces tavení mědi zahrnuje 4 kroky: pražení, tavení, koncentrování a rafinaci ohně.

Ruda Cu se praží, aby se snížily nečistoty (zahrnující síru, arsen, olovo a antimon). Vzniklý roztavený produkt nazýváme „kalcin“, ten se pak vkládá do tavící pece jako zahřátá a sušená vsázka. Tavením kalcinu se získá mat, roztavená směs sulfidu železa (FeS) a sulfidu mědi (Cu<sub>2</sub>S) a dalších těžkých kovů. Při přeměně matné směsi je získána vysoce kvalitní měď, tzv. „blistrovou“. Jedná se o měď s 98,5 – 99,5 % čisté mědi [19].

#### **Vakuová metalurgická separace**

Principem vakuové metalurgické separace je, že odděluje čistý kov od smíšených kovových částic. Tlaky par rozmanitých kovů jsou při stejné teplotě odlišné. Následkem je, že kov, který má vysoký tlak par, a přitom nízký bod varu, je schopen se oddělit od smíšených kovů za pomoci destilace nebo sublimace, následně pak může být recyklován kondenzací při určitých podmínkách [20].

### **2.2.2 Hydrometalurgické procesy**

Hydrometalurgické procesy jsou využívány k získání čistých drahých kovů, mezi ně patří skupina platinových kovů (Ir, Os, Pd, Pt, Rh), zlato (Au) a stříbro (Ag). Obnova základních kovů má důležitý vliv na ekonomický proces díky dostupnějšímu množství elektroodpadu. Hydrometalurgické procesy jsou zajímavé převážně svými heterogenními reakcemi. Příkladem je loužení pevné složky, která je zadržována kapalinou nebo plynem [21].

### **Zpětné získání drahých a základních kovů za pomoci louhování kyselin**

Převážná část vzácných kovů se do elektrospotřebičů kompletuje nejen v základní formě, ale i v příležitosti jiných kovů, přilehlé kovy se od sebe obtížně oddělují.

Louhování kyselinou se obvykle realizuje smísením směsi rudy, louhuje se při okolní teplotě 4 až 48 hodin. Využívá se kyseliny dusičné ( $\text{HNO}_3$ ). Pokud je louhováno hydrometalurgickou metodou, je zapotřebí, aby deska plošných spojů byla rozdrčena na částice menší než 1 mm [22].

### **Bio-hydrometalurgické louhování**

Bio louhování se převážně zaměřuje na získání cenných kovových frakcí ze zbytkových desek plošných spojů (dále jen DPS), taktéž může přispívat k regeneraci materiálů z elektroodpadu, a to 2 způsoby:

- využitím mikroorganismů k extrakci kovů generováním slabých organických kyselin, je tak ušetřeno využití silných anorganických kyselin. Slabé organické kyseliny šetří životní prostředí,
- možnost nabídky selektivní extrakce kovů při nízkých teplotách organické kyseliny vytvářené kulturami mikroorganismů. Vznikají tím neznečištěné nekovové prvky pro další zpracování.

Bio louhováním DPS se získávají kovy, jako jsou Cu, Zn, Ni, Cr a kovy drahé [23].

## **2.3 Závěr kapitoly separační metody**

Separací metody jsou rozděleny na 2 hlavní procesy, a to mechanické (zahrnuje způsoby demontáže DPS, izolace kovových a nekovových částí, třídění za pomoci sít), fyzikální (zahrnuje separace gravitační, magnetickou, elektrostatickou) a chemické (zahrnuje pyrometalurgii, hydrometalurgii).



### 3 ANALYTICKÉ VYUŽITÍ SEPARAČNÍCH METOD

Separální metody jsou využívány v mnoha odvětvích, jako například průmysl, biologie, zemědělství atp. Setkáváme se s nimi i ve výzkumných laboratořích.

Při výběru separace je důležité se zaměřit, jaké kovy chceme získat (viz kapitola 2.2 Chemické procesy).

Zaměřila jsem se na 3 typy chemických separačních metod: pyrometalurgie, hydrometalurgie a BIO metalurgie [25].

Tab. 4.: Výhody a nevýhody pyrometalurgie [25]

PYROMETALURGIE	
VÝHODY	Aplikovatelnost na jakýkoliv typ elektronického odpadu
NEVÝHODY	Plast není možné recyklovat, plast je nahrazován koksem, slouží jako zdroj energie. Obnova železa a hliníku není snadná, tyto složky končí ve struskové fázi jako oxidy.
	Halogenové retardéry hoření používané v DPS vedou při spalování k tvorbě dioxinů a furanů, těžkých kovů a prachu, které jsou uvolňovány do životního prostředí.

Tab. 5.: Výhody a nevýhody hydrometalurgie [25]

<b>HYDROMETALURGIE</b>	
<b>VÝHODY</b>	Snížené riziko znečištění ovzduší narozdíl od pyrometalurgie
<b>NEVÝHODY</b>	Je zapotřebí velkého objemu řešení – mechanická předúprava šrotu
	Kyanid je nebezpečný loup, je zapotřebí obezřetné manipulace.
	Může způsobit znečištění řek a mořské vody, představuje vážné zdravotní riziko pro lidi.

Tab. 6.: Výhody a nevýhody bio metalurgie [25]

<b>BIO METALURGIE</b>	
<b>VÝHODY</b>	Jednoduchý, levnější a šetrnější k životnímu prostředí
<b>NEVÝHODY</b>	Louhovací proces je velmi pomalý a časově náročnější
	Toxické chemické látky jako kyselina sírová a H <sup>+</sup> ionty se produkují během louhování. Louhovací proces může proniknout do povrchové a podzemní vody, a přeměnit tak pitnou vodu na vodu kyselou, čímž vzniknou enviromentální problémy.

### **Závěr kapitoly analytické využití separačních metod**

Kapitola popisuje výhody a nevýhody třech vybraných chemických metod, a to pyrometalurgii, hydrometalurgii a bio hydrometalurgii.

## **4 INOVACE VE VÝVOJI SEPARAČNÍCH METOD**

Svižný vývoj elektroniky s sebou přináší spoustu výhod a zároveň i příležitosti pro lepší život. Avšak nepřináší pouze výhody, ale i spoustu nevýhod. Jednou z nich je objem a uspěchanost technických inovací pro separační oblast, která je poháněna neustálou poptávkou po zlepšení technologií. Pouhých 15–20 % se recykluje z 50 milionů tun elektronického odpadu (včetně počítačů, ledniček, mobilních telefonů, hudebních vybavení, televizorů, notebooků a jiného elektronického a elektrického vybavení). Převážná většina zbylého elektronického odpadu se ocitá v rozvojových zemích, kde je mnohdy recyklováno prostým způsobem za pomoci základních metod, čímž vznikají závažná rizika nejen pro životní prostředí, ale i ohrožují život místních obyvatel [26].

### **4.1 Mikrotovárna**

V roce 2018 v Austrálii, Centru pro výzkum a technologii udržitelných materiálů na Univerzitě v Novém Jižním Walesu v Sydney, vznikla první mikro továrna, která přeměnila elektronický odpad na znovu použitelný materiál. Mikro továrna je modifikována malými automaty, které demontují vyřazené tiskárny, notebooky, počítače, smartphony a jiná elektronická zařízení, a separují pravděpodobně užitečné díly. Systém využívá temperovanou pec, která extrahuje kovy a přetváří je na užitečné slitiny.

Jeden z modulů slouží k odstraňování plastů z tiskáren a počítačů a využívá je k výrobě materiálů inteligentních vláken pro 3D tisk nebo pro průmyslovou keramiku.

Mikrofiltrací elektronického odpadu je nabízeno efektivní řešení pro jednu z největších ekologických událostí vůbec [27].

### **4.2 Projekt společnosti gas-to-energy od společnosti BMW**

Při rozkladu odpadu na skládkách vzniká metanový plyn, který je jeden z nejškodlivějších produktů skládek. Při spolupráci BMW Corporation s energetickým oddělením i výzkumnou autoritou v Jižní Karolíně, vytvořili inovativní palivové články, které byly poháněny vodíkem přeměněným na plynný metan.

Projekt je již v závěrečné fázi, plynové články jsou využívány k pohonu vysokozdvihných vozíků ve výrobním závodě Greer v Jižní Karolíně. Očekávané náklady na snížení pracovní síly související s doplňováním paliva by měly klesnout o 80 % [28].

### **4.3 Rozpustné baterie**

Na státní univerzitě Iowa zkoumají vědci alternativy k běžné baterii. S bateriemi není jednoduchá manipulace. Vznikla prvně hybridní baterie, malá lithium-iontová baterie, která je schopna dobít 2,5V energie a je rozpustná ve vodě během 30 minut.

Rozpustné baterie obsahují i nanočástice, které nejsou rozpustné ve vodě, avšak jsou bezpečně rozptýleny do životního prostředí. Projekt je stále ve fázi dokončování a čeká se na testování a případný průlom ke snižování elektronického odpadu na skládkách [28].

### **4.4 Silikonové desky s obvody**

Vědci se snaží o rozpustnost i jiných součástí elektroniky. V roce 2012 vědci zjistili, že i křemík je rozpustný ve vodě. Vznikla tím další inovace, a to deska s plošnými spoji, která se během 3 až 6 měsíců rozpustí na skládce [28].

### **4.5 Obnovení kovů z LED žárovek**

Zpracování odpadních LED žárovek za pomoci drcení, mletí a jiných fyzikálních procesů jsou kovy získány ekologicky a ekonomicky. Podkladem pro vznik metod jsou vlastnosti materiálu (například hustota, tvar, velikost a elektrická vodivost). Velkou výhodou je, že se nevyužívají žádné chemikálie. Metody zachytí vyšší množství zpětně získaných cenných kovů, bylo získáno 65 % mědi, na což z rudy je získáváno pouhých 30-40 %. Obsah olova činil 6 %, zinku 4,5 % a stříbra 1640 dílů na 1 milion. Vědci stále hledají způsob, jak získat i větší množství zlata. Proces také umožňuje znovu využití kovů z LED, jako jsou: měď, zlato, stříbro, ale i lutecium, cer, europium, galium a indium [29].

### **4.6 Získání bromu z elektronického odpadu**

Organizace Grillo-Werke AG vytvořila zdokonalovací proces, kde se bromové nečistoty z všemožných odpadů přemění na bezpečný bromid. Elektrický šrot může uvolňovat toxické halogeny nebo oxo-halogenové sloučeniny, jako jsou vysoce karcinogenní a toxické bromičnany, ty jsou obsaženy v halogenovém samozhášecím prostředku.

Organizace využívá redukční činidlo hydrogensířičitan sodný, tím se nebezpečné bromové páry stávají snadno bezpečným a ekologickým bromidovým produktem, jež lze následně průmyslově nadále využívat [30].

#### **4.7 Propagace vlastního recyklačního závodu ve společnosti RECIPO**

Společnost Recipo ve spolupráci se svými členy poskytuje zajímavé evropské recyklační řešení pro plasty. Propaguje jako první na světě vlastní recyklační závod. Bohužel v současnosti dokáží Evropské země recyklovat pouhých 25 % svého elektronického plasty. Recyklací evropského odpadu na evropské půdě bude zajištěno, aby byl lépe kontrolovatelný kompletní životní cyklus výrobku a jeho dopad na životní prostředí. Vizí Recipa není pouze plastový odpad z elektroniky získávat, ale zároveň z něj vyrábět recyklovatelný plast pro opětovné použití, tím se pak uzavře životní smyčka životního cyklu plastů [31].

#### **4.8 Závěr kapitoly inovace ve vývoji separačních metod**

Inovace ve vývoji separačních metod přináší spoustu příležitostí a výhod pro lepší život a životní prostředí. Jsou zde popsány různé projekty jako mikrotovárna, gas-to-energy, rozpouštění baterií, silikonové desky s obvody, obnovení kovů z led, získání bromu z elektronického odpadu.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 MIKROVLNNÁ SEPARACE VZÁCNÝCH KOVŮ ELEKTRONICKÉHO ODPADU

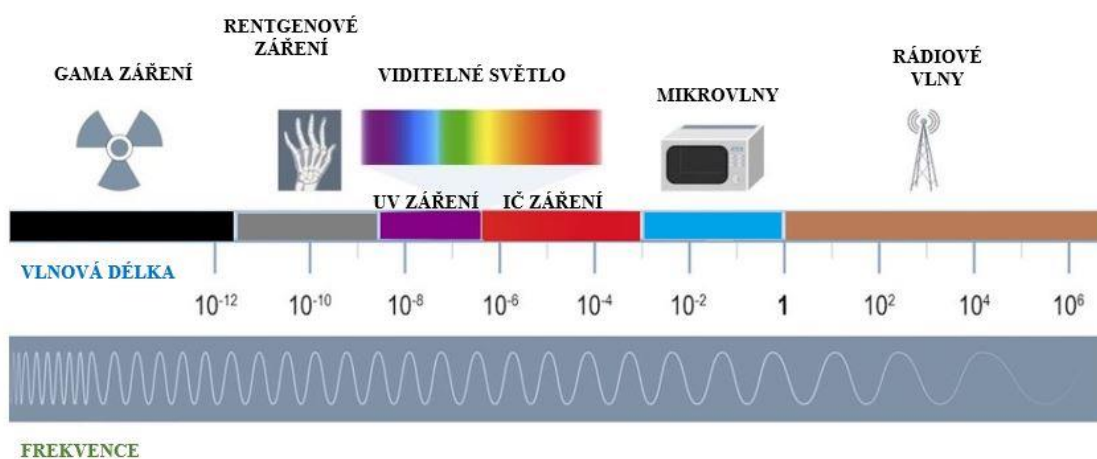
Ohřev mikrovlnnými vlnami je neobvyklý příspěvek pro oblast sintrování částicových materiálů. Mikrovlnný ohřev je mnohem rychlejší než konvenční ohřev, čímž je zkrácena celková doba sintrování. Mikrovlnný ohřev nese i nevýhody – vzácné kovy jsou spékány dohromady. Čímž se lze později přesvědčit i níže na obrázcích v sekci MĚŘENÍ.

### 5.1 Mikrovlny

Mikrovlny jsou elektromagnetické vlny s vlnovou délkou přibližně v rozmezí 30 cm (1 GHz) až 1 mm (300 GHz).

Mikrovlny jsou součástí elektromagnetického záření, pod elektromagnetické záření spadají též radiové vlny, ultrafialové záření, rentgen a gama záření. Mikrovlny se vyskytují ve spoustě aplikací, počínaje komunikace, radaru a vaření (mikrovlnná trouba).

Elektromagnetické záření je šířeno vlnami nebo částicemi různých vlnových délek a frekvencí. Takový široký rozsah vlnových délek je znám jako elektromagnetické spektrum, dělí se do sedmi oblastí podle klesající vlnové délky a zvyšující se energii a frekvenci [32, 33].



Obr. 4.: Elektromagnetické spektrum [33]

## 6 MĚŘÍCÍCH ZAŘÍZENÍ A JEJICH VLASTNOSTI

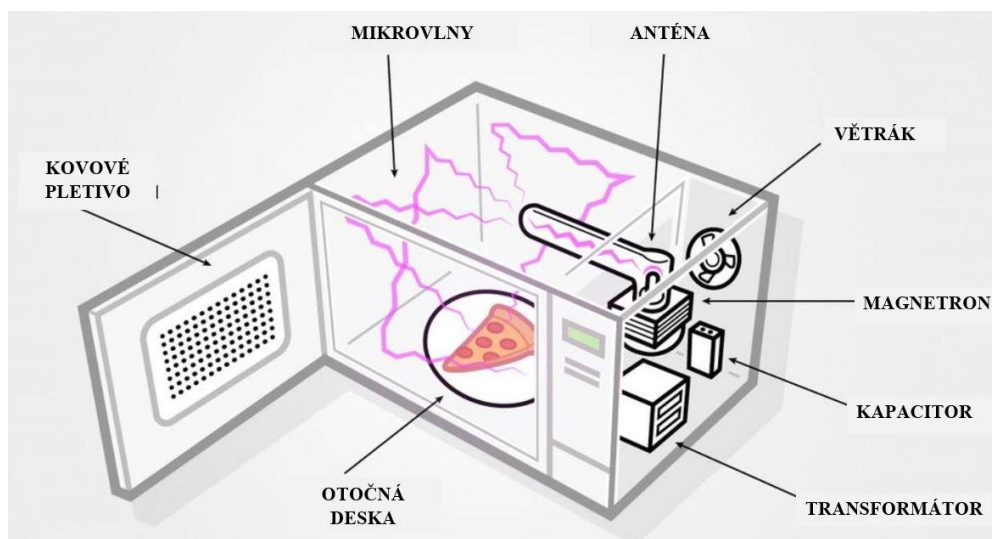
Součástí kapitoly 6 jsou typy zařízení, která byla použita při praktické části. Jsou popsány principy zařízení, které byly použity při mikrovlnném ohřevu plošných spojů. Bližší informace jsou obsaženy v podkapitolách.

### 6.1 Mikrovlnná trouba a její princip

Mikrovlnná trouba používá bezkontaktní ohřev, kdy se přeměňuje elektromagnetická energie na teplo. Proces ohřevu potravin v mikrovlnné troubě se zásadně liší od tradičního způsobu vaření. Během ohřevu v mikrovlnné troubě se uvnitř potravin vytváří teplo pomocí molekul vody, tím je ohřev výrazně rychlejší než u běžného tepelného ohřevu.

Mikrovlnné záření v mikrovlnné troubě je produkováno zářením zvané magnetron, jedná se o mikrovlnný generátor, který je hlavním prvkem zařízení. Stabilizátor je speciálním prvkem poskytující energii magnetronu, je zároveň nejdražším prvkem v celé mikrovlnné troubě.

Vlnovod je používán jako vedení pro přenos energie z magnetronu do emitoru. Emitor umožňuje vysokofrekvenční energii v pracovní komoře. Pracovní komorou se rozumí dutý obdélníkový rezonátor. Elektromagnetické vlny se opakovaně odráží od stěn v pracovní komoře a vytváření četné stojaté vlny elektromagnetického pole s uzly [36, 37].



Obr. 5.: Složení mikrovlnné trouby [34]



Mikrovlnné dveře jsou velmi důležité, zcela eliminují pronikání vysokoenergetického mikrovlnného záření do místnosti. Konstrukce dveří je poměrně komplikovaná. Dveře mají po celém obvodu vysokofrekvenční uzávěr škrťací klapky, čímž je snížen výkon mikrovlnné trouby na hodnotu bezpečnou.

Moderní mikrovlnné trouby pracují na frekvenci **2 450 MHz** [36, 37].

## **HLAVNÍ KOMPONENTY MIKROVLNNÉ TROUBY**

### **A) OBSAH MIKROVLNNÉ TROUBY:**

- ovládací komora se stíněnými dveřmi;
- ovládání a spínací obvod;
- vysokonapěťový transformátor pro napájení zdroje magnetronu;
- magnetron k regeneraci mikrovlnného záření;
- vlnovod k přenosu záření z magnetronu do komory.

### **B) POMOCNÉ PRVKY MIKROVLNNÉ TROUBY:**

- řídicí obvod;
- otočný stůl (pro vyšší rovnoměrnost ohřevu);
- ventilátor (k chlazení magnetronu a odvětrání ovládací komory).

## **ZAJÍMAVOSTI O MIKROVLNNÉ TROUBĚ**

Je velmi snadný způsob, jak ověřit kvalitu stínění dveří. Postačí, když je mobilní telefon vložen do pracovní komory, zavřou se dveře a vytočí se telefonní číslo. Pokud budou dveře dostatečně stínit, nedostatek komunikace bude značným důkazem.

Další zajímavostí je, že mikrovlnné záření nezpůsobuje chemické změny v potravinách a navíc zachovává 75 až 98 % vitamínů obsažených v potravinách. Srovná-li se mikrovlnný ohřev s ohřevem konvenčním, u konvenčního ohřevu je zachováno pouze 35 až 60 % vitamínů [36, 37].

## **6.2 Deska plošných spojů**

Pod pojmem deska plošných spojů je možné si představit desku, která vzájemně elektricky spojuje různé komponenty a konektory. DPS usnadňuje napájení a směrování signálů mezi fyzickými zařízeními. DPS se člení na tři typy konstrukce, a to z hlediska uspořádání vodičů na jednostranné, oboustranné a vícevrstvé. Desky plošných spojů jsou známé též jako CUPREXTIT [38].

U jednostranných desek jsou obvody uspořádány na jedné straně podkladu, jsou často označovány jako desky pro leptání a tisk. Oboustranné desky mají obvody po obou stranách desek. Vícevrstvé desky mají tři nebo více obvodových vrstev. Dříve byly vícevrstvé desky využívány na sofistikované průmyslové elektronické výrobky, v současnosti se však vyskytují ve všech elektronických zařízeních, včetně spotřebních produktů, jako jsou například mobilní telefony, videokamery a zvukové disky [38].

## **6.3 Závěr kapitoly měřící zařízení**

Kapitola popisuje zařízení, které sloužily při praktické části.

Je popsána mikrovlnná trouba a její princip, jaké jsou její hlavní komponenty a zajímavosti o mikrovlnné troubě. Dalším prvkem, se kterým se pracovalo v praktické části je deska plošných spojů, jsou popsány rozdíly mezi jednotlivými typy desek.

## **7 MĚŘENÍ A VERIFIKACE ZJIŠTĚNÝCH DAT Z MĚŘENÍ**

K měření byly využity následná zařízení:

- mikrovlnná trouba Candy CMG 22 DW

### **technické parametry:**

Napájecí napětí 230 V ~ 50 Hz

Příkon 1250 W

Frekvence mikrovln 2450 MHz

Vnější rozměry 289 x 461 x 365 mm (výška x šířka x hloubka)

- jednostranné plošné spoje;
- nůžky na plech;
- extrudovaný polystyren;
- zalamovací nůž;
- bezkontaktní teploměr Extech HD500.

### **7.1 Návrh pro mikrovlnnou separaci drahých kovů z elektronického odpadu**

K získání dopadu působení mikrovln na desku plošných spojů byla využita mikrovlnná trouba Candy. Otočný talíř byl vyjmut z trouby a vnitřní stěny byly vyplněny extrudovaným polystyrenem. Extrudovaný polystyren byl nařezán pomocí zalamovacího nože manuálně, který byl vždy před řezem nahříván, aby byl řez co nejpřesnější. Bylo zapotřebí vyplnit mikrovlnnou troubu včetně předního otvoru, aby nevzniklo poškození předních dvířek (viz. obr. 7).



*Obr. 6.: Mikrovlnná trouba vyplněná extrudovaným polystyrenem [Vlastní zdroj]*



*Obr. 7.: Zakryta přední část mikrovlnné trouby za pomoci extrudovaného polystyrenu [Vlastní zdroj]*

Mikrovlnná trouba byla následně zapojena do sítě 230 V. Vzorok plošných spojů byly nařezány o rozměrech 4 x 8 cm. Dané vzorky byly nařezány pomocí přímých nůžek na plech.

Teplota testovaných vzorků plošných spojů byla po časovém intervalu měřena za pomoci bezkontaktního teploměru Extech HD500 (viz. obr. ).



*Obr. 8.: Bezkontaktní teploměr Extech HD500 [Vlastní zdroj]*

## 7.2 Ověřené skutečnosti a jejich verifikace

Měření dopadu mikrovln na desky plošných spojů bylo prováděno pomocí stínění, čímž je myšleno použití extrudovaného polystyrenu jako výplně. Plošné spoje byly pokojové teploty 22,8 °C. Testované vzorky byly měřeny při změnách mikrovlnného výkonu a času (viz. tabulka). K jednotlivým výkonům se využily jednostranné cuprexitové desky, a to 5 kusů ke každému mikrovlnnému výkonu, celkově bylo pracováno s 25 vzorky. Fotografie se pořizovaly pouze u vzorků, kde se měď odlučovala.

Tab. 7.: Mikrovlnný výkon, při kterém byly testovány vzorky [Vlastní zdroj]

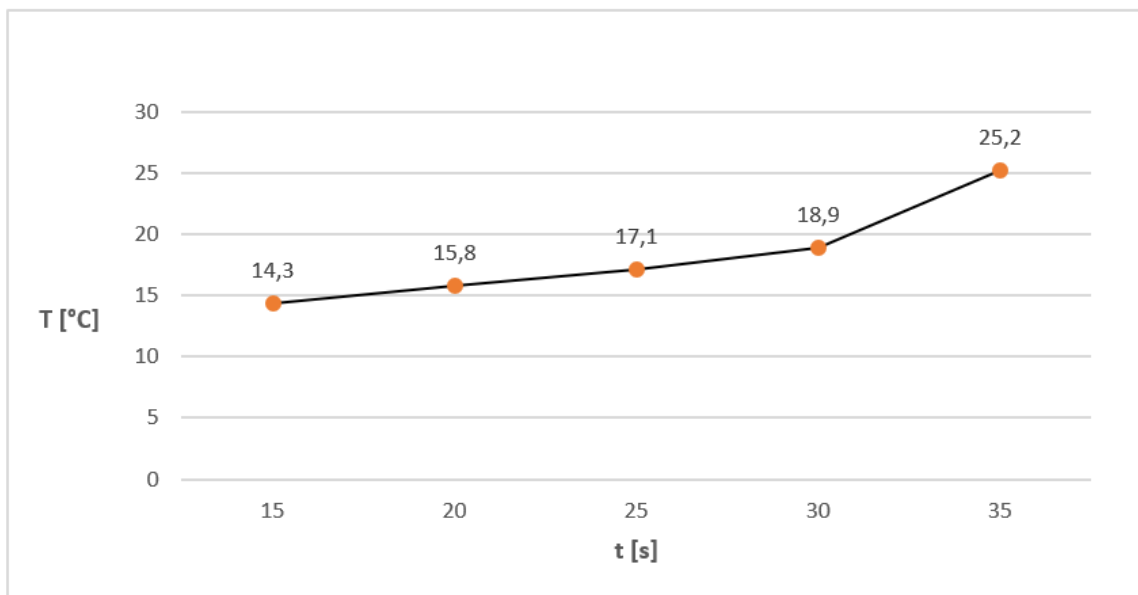
Nastavený výkon	Mikrovlnný výkon [W]	Mikrovlnný výkon [%]
P 10	80	10
P 30	240	30
P 50	400	50
P 80	640	80
P 100	800	100

### 7.2.1 Měření vzorků při mikrovlnném výkonu 80 W

K testům byly využity jednostranné plošné spoje.

Tab. 8.: Časové intervaly a naměřené hodnoty teploty u jednotlivých vzorků při 80 W [Vlastní zdroj]

	VZOREK 1	VZOREK 2	VZOREK 3	VZOREK 4	VZOREK 5
t [s]	15	20	25	30	35
T [°C]	14,3	15,8	17,1	18,9	25,2



*Obr. 9.: Graf teploty při mikrovlnném ohřevu při zadaném čase při výkonu 80 W [Vlastní zdroj]*

Během mikrovlnného ohřevu při výkonu 80 W se plošné spoje pouze zahřály, plocha vzorků nebyla nijak poškozena. Impulsy pracovaly pouze na 10 % výkonu, čímž nebyly zaznamenány patrné změny a plošném spoji.

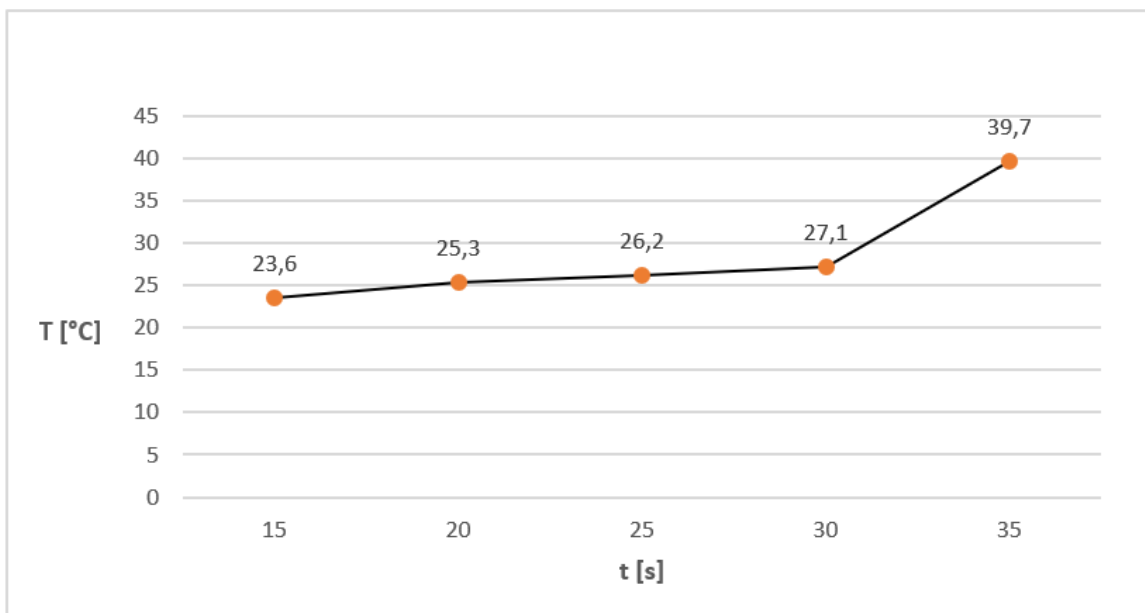
### 7.2.2 Měření vzorků při mikrovlnném výkonu 240 W

K testům byly použity jednostranné plošné spoje.

Tab. 9.: Časové intervaly a naměřené hodnoty teploty u jednotlivých vzorků, 240 W  
[Vlastní zdroj]

	VZOREK 1	VZOREK 2	VZOREK 3	VZOREK 4	VZOREK 5
t [s]	15	20	25	30	35
T [°C]	23,6	25,3	26,2	27,1	39,7

Mikrovlnným ohřevem při výkonu 240 W se plošné spoje zahřály na značně vyšší teplotu než při předchozím měření, kdy byl mikrovlnný ohřev na 80 W. Při 240 wattech byla intenzita impulsů na 30 % celkového výkonu.



Obr. 10.: Graf teploty při mikrovlnném ohřevu při zadaném čase při výkonu 240 W  
[Vlastní zdroj]

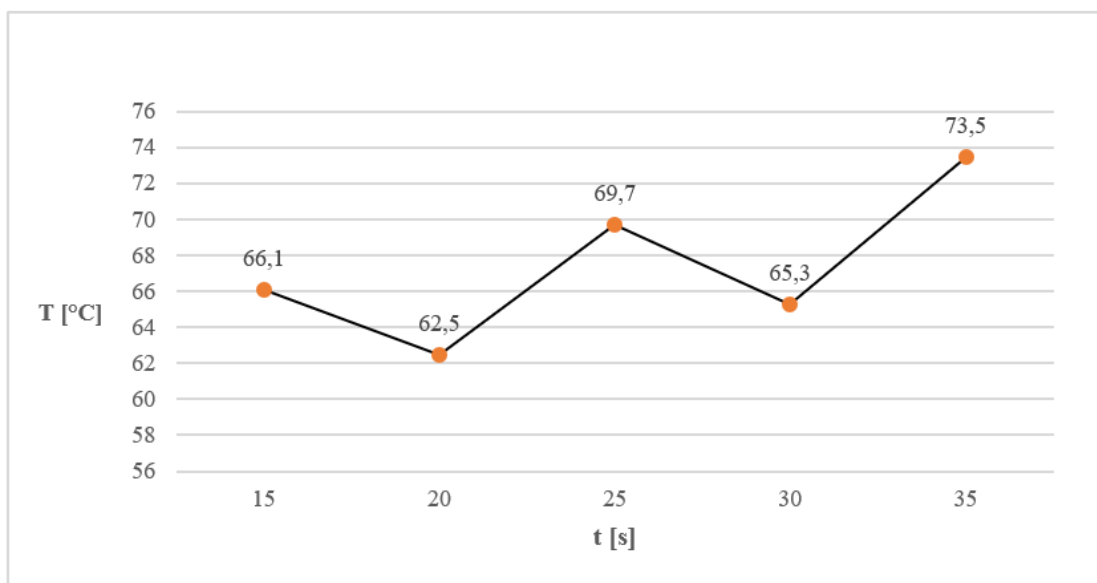


### 7.2.3 Měření vzorků při mikrovlnném výkonu 400 W

Testované vzorky byly jednostranné plošné spoje.

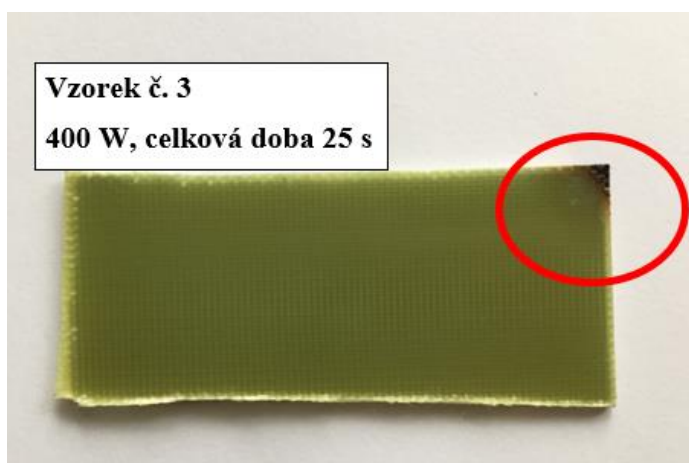
Tab. 10.: Časové intervaly a naměřené hodnoty teploty u jednotlivých vzorků, 400 W  
[Vlastní zdroj]

	VZOREK 1	VZOREK 2	VZOREK 3	VZOREK 4	VZOREK 5
t [s]	15	20	25	30	35
T [°C]	66,1	62,5	69,7	65,3	73,5

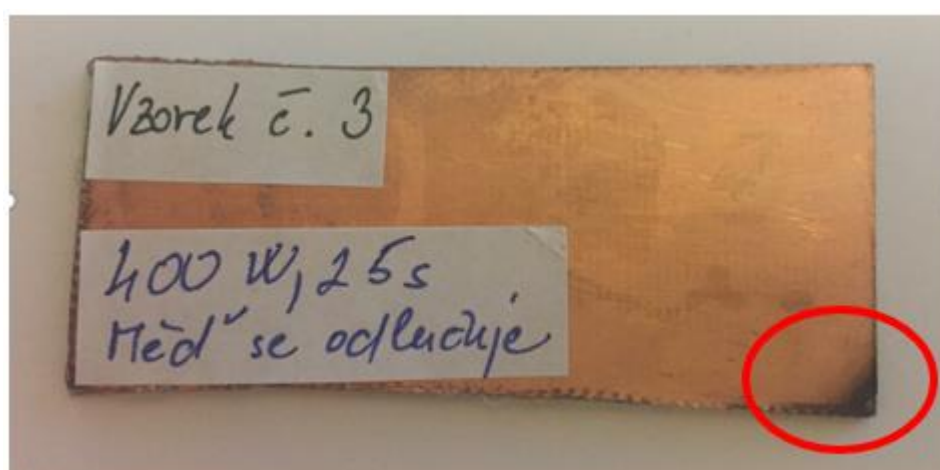


Obr. 11.: Graf teploty při mikrovlnném ohřevu při zadaném čase při výkonu 400 W  
[Vlastní zdroj]

Při mikrovlnné ohřevu s výkonem 400 wattů již docházelo k odlučování mědi, měď se začala separovat u 3. vzorku plošného spoje během doby 25 sekund, kdy teplota plošného spoje činila 69,7 °C. Přibližný čas, kdy se měď začala odprýskávat činilo asi 15 sekund. Vše způsoboval magnetron, který se v pravidelných časových intervalech zapíná a vypíná, čímž je očividná změna impulsů. Impulsy byly na 50 % celkového výkonu mikrovlnného ohřevu. Na obrázku č. 12 lze vidět poškozený spoj.



Obr. 12.: Vzorek č. 3 DPS po mikrovln. ohřevu, při výkonu 400 W, laminátová strana [Vlastní zdroj]



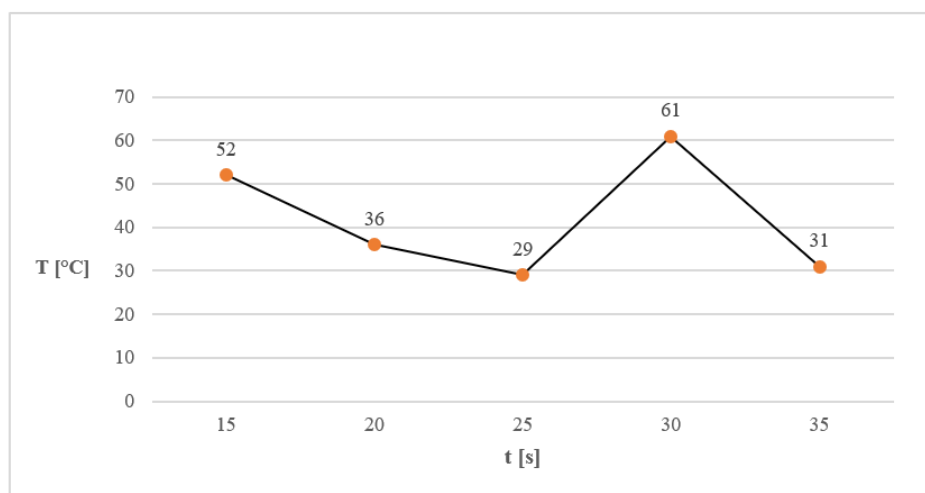
Obr. 13.: Vzorek č. 3 DPS po mikrovlnném ohřevu při výkonu 400 W, měděná strana [Vlastní zdroj]

#### 7.2.4 Měření vzorků při mikrovlnném výkonu 640 W

Měření bylo praktikováno na jednostranných plošných spojích.

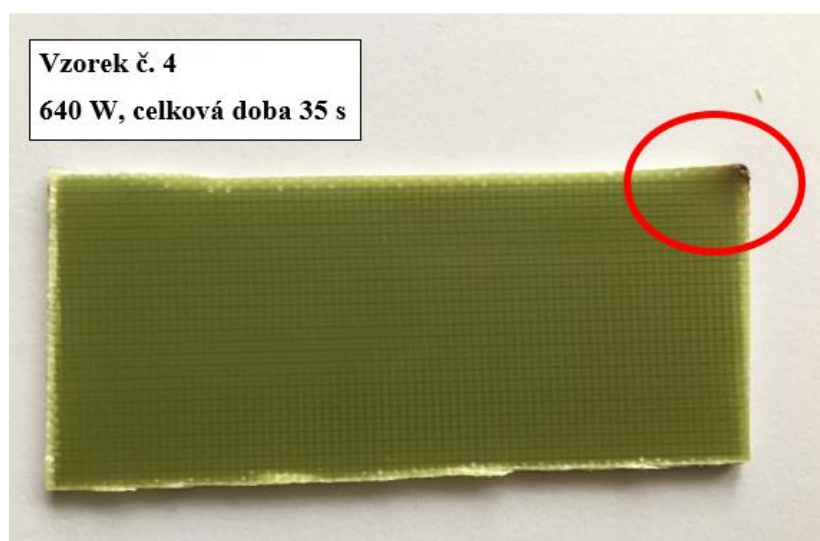
Tab. 11.: Časové intervaly a naměřené hodnoty teploty u jednotlivých vzorků, 640 W  
[Vlastní zdroj]

	VZOREK 1	VZOREK 2	VZOREK 3	VZOREK 4	VZOREK 5
t [s]	15	20	25	30	35
T [°C]	52	36	29	61	31

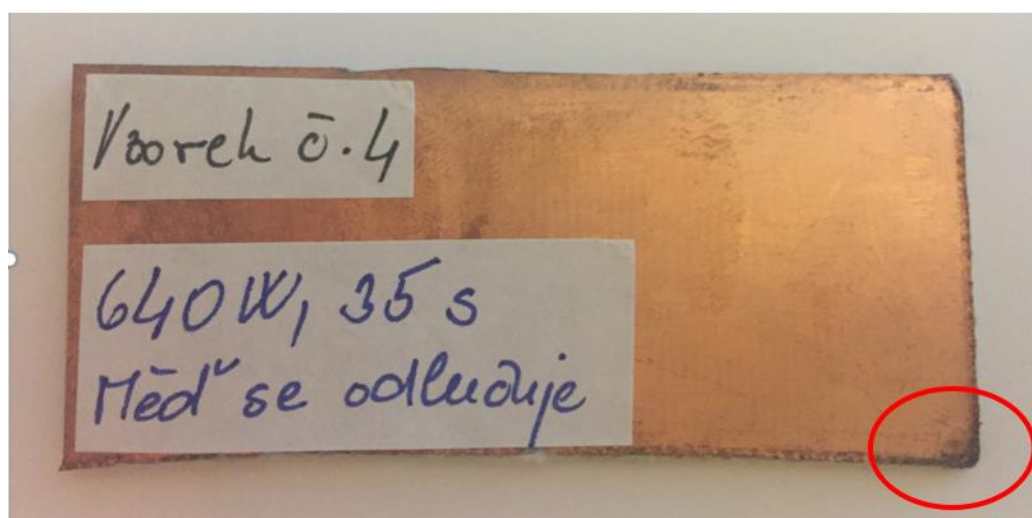


Obr. 14.: Graf teploty při mikrovlnném ohřevu při zadaném čase při výkonu 640 W  
[Vlastní zdroj]

Teplota zobrazená v grafu poukazuje na impulsy mikrovlnného ohřevu. Je zde krásná ukázka toho, kdy impulsy pracují na plný výkon a kdy naopak ne, čímž se teplota intenzivně mění. Impulsy při 640 wattech pracovaly na 77 % celkového výkonu mikrovlnné trouby. I zde docházelo k odlučování mědi od desky plošných spojů, a to u 4. vzorku, kdy během 35 sekund teplota plošného spoje byla 61 °C. Na obrázku č. 14 lze vidět poškozený spoj.



Obr. 15.: Vzorek č. 4 DPS po mikrovln. ohřevu, při výkonu 640 W, laminátová strana [Vlastní zdroj]



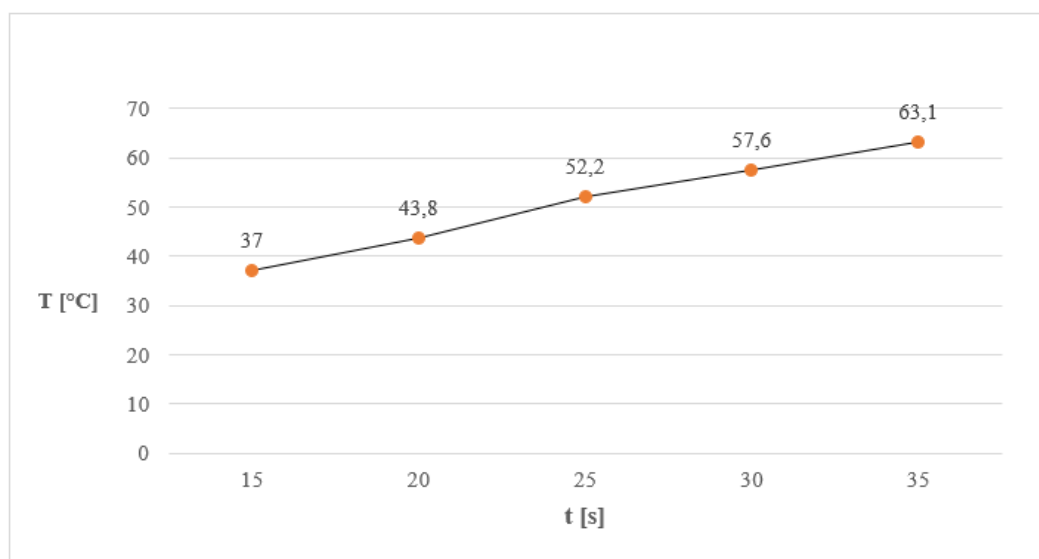
Obr. 16.: Vzorek č. 4 DPS po mikrovln. ohřevu, při výkonu 640 W, měděná strana [Vlastní zdroj]

### 7.2.5 Měření vzorků při mikrovlnném výkonu 800 W

Při měření hodnot byly použity opět jednostranné plošné spoje.

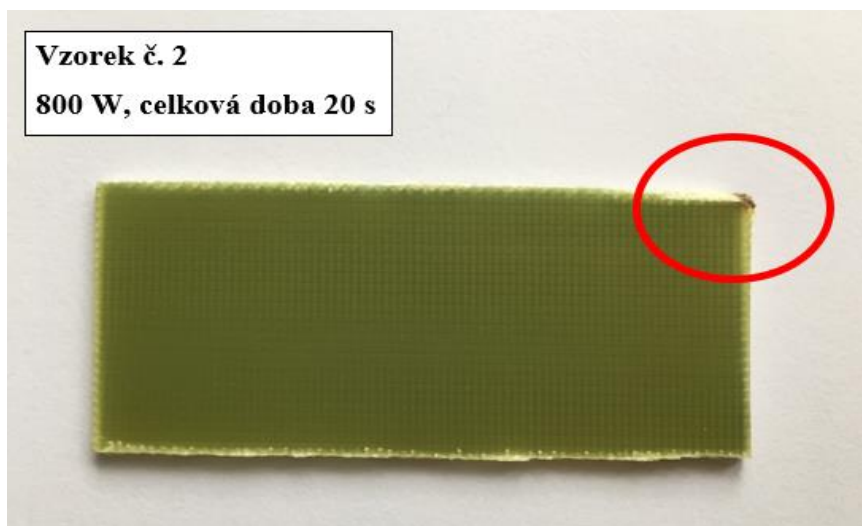
Tab. 12.: Časové intervaly a naměřené hodnoty teploty u jednotlivých vzorků, 800 W  
[Vlastní zdroj]

	VZOREK 1	VZOREK 2	VZOREK 3	VZOREK 4	VZOREK 5
t [s]	15	20	25	30	35
T [°C]	37	43,8	52,2	57,6	63,1

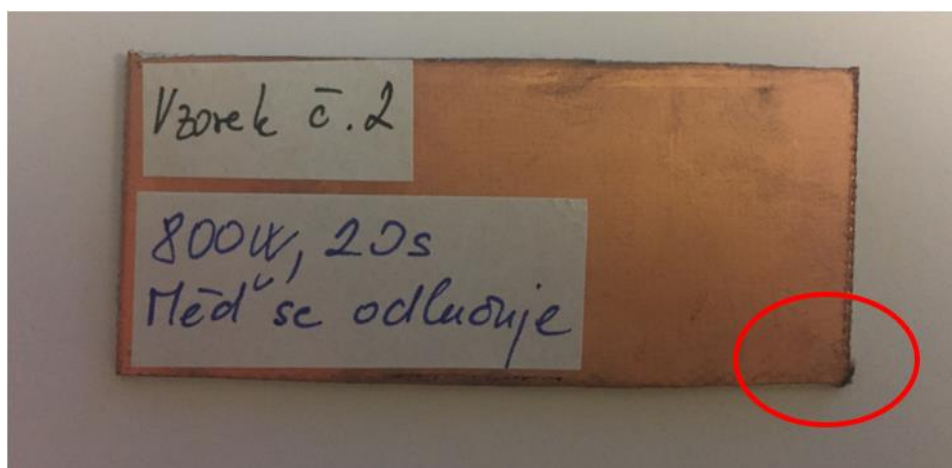


Obr. 17.: Graf teploty při mikrovlnném ohřevu při zadaném čase při výkonu 800 W  
[Vlastní zdroj]

Mikrovlnný výkon 800 wattů je maximální výkon, při kterém mikrovlnná trouba, jenž byla použita pro testování, může pracovat. Impulsy při maximálním výkonu jedou neustále, čímž lze vidět na grafu téměř lineární křivku. Měď se odlučovala během 20 sekund u vzorku č. 2, kdy teplota plošného spoje dosáhla 43,8 °C. Na obrázku lze vidět značně poškozený jednostranný plošný spoj.



Obr. 19.: Vzorek č. 2 DPS po mikrovln. ohřevu, při výkonu 800 W, laminátová strana [Vlastní zdroj]



Obr. 18.: Vzorek č. 2 DPS po mikrovln. ohřevu, při výkonu 800 W, měděná strana [Vlastní zdroj]

## ZÁVĚR

V minulosti na odpad nebyl brán ohled, byl skládkován nebo spalován. Spousta takového odpadu, jako například je například elektronický odpad však v sobě obsahoval spousta nebezpečných látek, se kterými bylo zapotřebí něco udělat. V současnosti je elektronický odpad recyklován a z velké části využit.

Recyklací je získáváno spousta nerostných surovin, i když v současných elektronických zařízeních je vzácných kovů čím dál méně, stále je recyklace elektronických zařízeních méně náročná než nerostné suroviny těžít.

Chemické separace jsou velmi využívány pro odloučení kovových částí, avšak stále vyprodukují nežádoucí odpad, který je z velké části považován za nebezpečný.

Bakalářská práce se zaměřuje na možnost desintegrace kovových a nekovových částí pomocí mikrovlnné separace.

Teoretická část začíná odpadem, který lidstvo vyprodukuje. Je to důležitá kapitola, od které se pak odvíjí elektronický odpad. Jelikož elektronická zařízení obsahují širokou škálu různorodosti materiálů, ze kterých jsou zkompletována. Největším vyprodukovaným odpadem elektronických zařízení jsou plasty. A proto jsou další důležitou kapitolou separační metody, pomocí nichž jsou extrahovány kovové a nekovové části z elektronického odpadu. Mechanická separace je používána k rozdělení částí na kovové, nekovové a také částí, které jsou spojené a nelze je mechanicky rozdělit. Pro části, které obsahují jak kovové, tak i nekovové části jsou zpravidla využívány chemické separace. Je spousta metod chemických separací pro oddělení látek. V kapitole analytické využití separačních metod byly vybrány 3 separační metody k porovnání výhod a nevýhod separace, byly to: hydrometalurgie, pyrometalurgie a bio hydrometalurgie. Teoretická část byla završena inovacemi pro separační metody. Je spousta inovací, které se neustále snaží vylepšovat svůj proces tak, aby docházelo k co nejmenšímu dopadu na životní prostředí.

Praktická část se specializuje na zařízení, se kterými bylo během testování pracováno a dále testování desek plošných spojů, které se během daného času a výkonu různorodě chovaly. Popisuje mikrovlnnou troubu, její princip, hlavní komponenty a zajímavosti o troubě. U desek plošných spojů jsou popsány rozdíly mezi jednotlivými typy desek. Výsledky testovaných vzorků závisely na výkonu mikrovlnné trouby a čase. Vzorky, u kterých přišlo k odlučování mědi od cuprexitové desky, jsou zdokumentovány i fotografií.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Třídění v domácnosti. *Jak třídit* [online]. [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <https://www.jaktridit.cz/cz/trideni/trideni-v-domacnosti>
- [2] ElectronicScrap[online].2006[cit.2019-10-11]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/electronic-scrap>
- [3] GOLDHUB [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.gold.org/goldhub/research/gold-demand-trends/gold-demand-trends-full-year-2018/technology>.
- [4] Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). EUR-Lex: Access to European Union law [online]. Official Journal of the European Union, 2012, 24.7.2012 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32012L0019>
- [5] KHALIQ, Abdul, Muhammad Akbar RHAMDHANI, Geoffrey BROOKS a Syed MASOOD. Metal Extraction Processes for Electronic Waste and Existing Industrial Routes: A Review and Australian Perspective [online]. 3. Faculty of Science, Engineering and Technology, Swinburne University of Technology, Hawthorn, VIC 3122, Australia: resources, 2014 [cit. 2019-10-11]. ISBN ISSN 2079-9276. Dostupné z: <http://wealthfromwaste.net/wp-content/uploads/2014/11/Metal-Extraction-Processes-for-Electronic-Waste-and-Existing-Industrial-Routes.pdf>
- [6] KAYA, Muammer. Recovery of Metals from Electronic Waste by Physical and Chemical recycling Processes. ResearchGate [online]. 2016 [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/294886672\\_Recovery\\_of\\_Metals\\_from\\_Electronic\\_Waste\\_by\\_Physical\\_and\\_Chemical\\_recycling\\_Processes](https://www.researchgate.net/publication/294886672_Recovery_of_Metals_from_Electronic_Waste_by_Physical_and_Chemical_recycling_Processes)
- [7] Electrostatic separation. CTP [online]. [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://www.ctp.be/en/expertise/mineral-processing/physical-separation/electrostatic-separation/>
- [8] Corona Discharge: How to Reduce The Corona Effect. Electrical4u [online]. [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://www.electrical4u.com/corona-effect-in-power-system/>
- [9] Simulation on the PCB Particle Trajectories in Corona-discharge Electrostatic Separator. In: ResearchGate [online]. [cit. 2020-03-22]. Dostupné z:



- [https://www.researchgate.net/publication/272367258\\_Simulation\\_on\\_the\\_PCB\\_Particle\\_Trajectories\\_in\\_Corona-discharge\\_Electrostatic\\_Separator/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/272367258_Simulation_on_the_PCB_Particle_Trajectories_in_Corona-discharge_Electrostatic_Separator/figures?lo=1)
- [10] Eddy Current Aluminium Separation. 911Metallurgist [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.911metallurgist.com/equipment/eddy-current-aluminium-separation/>
- [11] Physical sorting – The Eddy current separation method. UNIVERSITY OF CAMBRIDGE [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: [https://doitpoms.ac.uk/tlplib/recycling-metals/eddy\\_current.php](https://doitpoms.ac.uk/tlplib/recycling-metals/eddy_current.php)
- [12] The use of air tabling and triboelectric separation for separating a mixture of three plastics. ACADEMIA [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: [https://www.academia.edu/10173410/The\\_use\\_of\\_air\\_tabling\\_and\\_triboelectric\\_separation\\_for\\_separating\\_a\\_mixture\\_of\\_three\\_plastics](https://www.academia.edu/10173410/The_use_of_air_tabling_and_triboelectric_separation_for_separating_a_mixture_of_three_plastics)
- [13] Triboelectricity. Tribonet [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.tribonet.org/wiki/triboelectricity/>
- [14] Pyrolýza odpadů – moderní způsob jejich zneškodnění. Envi Web [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/94618>
- [15] Spalování. CEZ [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/spalovani.html>
- [16] Zplyňování – principy a reaktory. Tzb-info [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/13729-zplynovani-principy-a-reaktory>
- [17] MARQUES, André Canal, Jose Maria CABRERA a Celia Fraga MALFATTI. A review of the recycling of non-metallic fractions of printed circuit boards. ResearchGate [online]. 2013 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/259451276\\_A\\_review\\_of\\_the\\_recycling\\_of\\_non-metallic\\_fractions\\_of\\_printed\\_circuit\\_boards](https://www.researchgate.net/publication/259451276_A_review_of_the_recycling_of_non-metallic_fractions_of_printed_circuit_boards)
- [18] Pyrometallurgy. ScienceDirect [online]. [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/pyrometallurgy>
- [19] Primary Copper Smelting. Epa [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch12/final/c12s03.pdf>
- [20] ZHAN, Lu a Xu ZHENMING. Application of vacuum metallurgy to separate pure metal from mixed metallic particles of crushed waste printed circuit board

- scraps. Science.gov [online]. 2008 [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <https://www.science.gov/topicpages/v/vacuum+metallurgy+division>
- [21] Hydrometallurgical Process. ScienceDirect [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/hydrometallurgical-process>
- [22] KUMAR, Manoj, Jae-chun LEE, Min-Seuk KIM, Jinki JEONG a Kyoungkeun YOO. Leaching of metals from waste printed circuit boards (WPCBs) using sulfuric and nitric acids [online]. Environmental engineering and management journal, 2014 [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/288013823\\_Leaching\\_of\\_metals\\_from\\_waste\\_printed\\_circuit\\_boards\\_WPCBs\\_using\\_sulfuric\\_and\\_nitric\\_acids](https://www.researchgate.net/publication/288013823_Leaching_of_metals_from_waste_printed_circuit_boards_WPCBs_using_sulfuric_and_nitric_acids).
- [23] SETHURAJAN, Manivannan. Metallurgical sludges, bio/leaching and heavy metals recovery (Zn, Cu) [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01407248/document>
- [24] Produkce, využití a odstranění odpadů z roku 2018. Český statistický úřad [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-2018>
- [25] Analýza současného stavu vybraných komodit druhotných surovin a jejich zdrojů včetně vize rozvoje daného odvětví. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: [https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/politika-druhotnych-surovin-cr/2019/8/Analiza\\_materialove-toky\\_PDS-CR.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/politika-druhotnych-surovin-cr/2019/8/Analiza_materialove-toky_PDS-CR.pdf)
- [26] E-Waste and Innovation: Unlocking Hidden Value. WIPO MAGAZINE [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: [https://www.wipo.int/wipo\\_magazine/en/2014/03/article\\_0001.html](https://www.wipo.int/wipo_magazine/en/2014/03/article_0001.html).
- [27] Tech Innovation Converts e-Waste into Reusable Materials. TRIPLE PUNDIT [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.triplepundit.com/story/2018/tech-innovation-converts-e-waste-reusable-materials/12751>.
- [28] 3 Innovations to Reduce the Impact of e-Waste & Landfills. SMARTCITIESDIVE [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.smartcitiesdive.com/ex/sustainablecitiescollective/3-innovations-aiming-alleviate-world-s-waste-crisis/1233818/>.

- [29] Recovering metals from LEDs. *RECYCLING* magazine [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.recycling-magazine.com/2017/01/17/recovering-metals-leds/>.
- [30] Recovery of bromine from e-waste. *RECYCLING* magazine [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.recycling-magazine.com/2020/04/15/recovery-of-bromine-from-e-waste/>.
- [31] Recipo closes loop on e-waste. *RECYCLING* magazine [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.recycling-magazine.com/2020/03/05/recipo-closes-loop-on-e-waste/>.
- [32] What Are Microwaves? *LIVE SCIENCE* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/50259-microwaves.html>.
- [33] Microwave. *ScienceDaily* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.sciencedaily.com/terms/microwave.htm>.
- [34] How Do Microwaves Cook Food? In: *BUSINESS INSIDER* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.businessinsider.com/how-do-microwaves-work-2014-6>.
- [35] Microwave oven operating principle. *The Appliances Reviews* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://theappliancesreviews.com/microwave-oven-operating-principle/>.
- [36] Microwave ovens. *Hyperphysics* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Waves/mwoven.html>.
- [37] PCB Basics. *SPARKFUN* [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/pcb-basics/all>.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Cu	Měď
Al	Hliník
Pb	Olovo
Zn	Zinek
Ni	Nikl
Fe	Železo
Sn	Cín
Sb	Antimon
Au	Zlato
Ag	Stříbro
Ga	Gallium
Pt	Platina
Pd	Paladium
Te	Telur
Ta	Tantal
Ge	Germanium
As	Arsen
Ti	Titan
In	Indium
Co	Kobalt
Se	Selen
Bi	Bismut
Si	Křemík
Ir	Iridium
Os	Osmium
Rh	Rhodium
Cr	Chrom
OEEZ	Odpady elektrických a elektronických zařízení
EEZ	Elektrické a elektronické zařízení
DPS	Desky plošných spojů
IT	Informační technologie
LCD	Liquid Crystal Display = displej z kapalných krystalů

CRT	Cathode Ray Tube = Katodová trubice
LED	Light-Emitting Diode = elektroluminiscenční (světelná) dioda
SMD	Surface Mount Device = Zařízení pro povrchovou montáž
CFC	Chlorfluoruhlodíky
HCFC	Hydrochlorfluoruhlodíky
HFC	Fluorované uhlodíky
FeS	Sulfid železa
Cu <sub>2</sub> S	Sulfid mědi
HNO <sub>3</sub>	Kyselina dusičná
BMW	Bayerische Motoren Werke = Bavorské motorové závody, označení pro motorová vozidla
Hz	Hertz
MHz	Mega Hertz
GHz	Giga Hertz
V	Volt
W	Watt
mm	Milimetr
t	čas
s	sekunda
T	teplota
°C	Celsius

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1.: Separace koronovými elektrodami, oddělení částic [9].....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 2.: Separátor nekovových a neželezných částí za pomoci vířivých proudů [10] .....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 3.: Schématické zobrazení triboelektrické separace [12] .....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 4.: Elektromagnetické spektrum [33] .....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 5.: Složení mikrovlnné trouby [34].....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 6.: Mikrovlnná trouba vyplněná extrudovaným polystyrenem [Vlastní zdroj] .....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 7.: Zakryta přední část mikrovlnné trouby za pomoci extrudovaného polystyrenu [Vlastní zdroj].....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 8.: Bezkontaktní teploměr Extech HD500 [Vlastní zdroj] .....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 9.: Graf teploty při mikrovlnném ohřevu při zadaném čase při výkonu 80 W [Vlastní zdroj].....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 10.: Graf teploty při mikrovlnném ohřevu při zadaném čase při výkonu 240 W [Vlastní zdroj].....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 11.: Graf teploty při mikrovlnném ohřevu při zadaném čase při výkonu 400 W [Vlastní zdroj].....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 12.: Vzorek č. 3 DPS po mikrovln. ohřevu, při výkonu 400 W, laminátová strana [Vlastní zdroj].....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 13.: Vzorek č. 3 DPS po mikrovlnném ohřevu při výkonu 400 W, měděná strana [Vlastní zdroj].....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 14.: Graf teploty při mikrovlnném ohřevu při zadaném čase při výkonu 640 W [Vlastní zdroj].....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 15.: Vzorek č. 4 DPS po mikrovln. ohřevu, při výkonu 640 W, laminátová strana [Vlastní zdroj].....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 16.: Vzorek č. 4 DPS po mikrovln. ohřevu, při výkonu 640 W, měděná strana [Vlastní zdroj].....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 17.: Graf teploty při mikrovlnném ohřevu při zadaném čase při výkonu 800 W [Vlastní zdroj].....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 18.: Vzorek č. 2 DPS po mikrovln. ohřevu, při výkonu 800 W, měděná strana [Vlastní zdroj].....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 19.: Vzorek č. 2 DPS po mikrovln. ohřevu, při výkonu 800 W, laminátová strana [Vlastní zdroj].....</i>	<i>46</i>

## SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1.: Odpadové hospodářství v ČR v letech 2014–2018 (v tis. t) [24]</i> .....	11
<i>Tab. 2.: Kategorizace elektronických a elektrických zařízení [4]</i> .....	14
<i>Tab. 3.: Nebezpečný materiál a komponenty v elektronických zařízeních [4]</i> .....	15
<i>Tab. 4.: Výhody a nevýhody pyrometalurgie [25]</i> .....	25
<i>Tab. 5.: Výhody a nevýhody hydrometalurgie [25]</i> .....	26
<i>Tab. 6.: Výhody a nevýhody bio metalurgie [25]</i> .....	26
<i>Tab. 7.: Mikrovlnný výkon, při kterém byly testovány vzorky [Vlastní zdroj]</i> .....	38
<i>Tab. 8.: Časové intervaly a naměřené hodnoty teploty u jednotlivých vzorků při 80 W [Vlastní zdroj]</i> .....	38
<i>Tab. 9.: Časové intervaly a naměřené hodnoty teploty u jednotlivých vzorků, 240 W [Vlastní zdroj]</i> .....	40
<i>Tab. 10.: Časové intervaly a naměřené hodnoty teploty u jednotlivých vzorků, 400 W [Vlastní zdroj]</i> .....	41
<i>Tab. 11.: Časové intervaly a naměřené hodnoty teploty u jednotlivých vzorků, 640 W [Vlastní zdroj]</i> .....	43
<i>Tab. 12.: Časové intervaly a naměřené hodnoty teploty u jednotlivých vzorků, 800 W [Vlastní zdroj]</i> .....	45